



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cláudia Sofia Oliveira Lopes

Implementação de melhorias com base nos princípios *Lean* numa linha de produção

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Manuel Lopes Nunes

Outubro de 2019



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cláudia Sofia Oliveira Lopes

Implementação de melhorias com base nos
princípios *Lean* numa linha de produção

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Manuel Lopes Nunes

Outubro de 2019

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Terminada a etapa mais exigente no meu percurso académico, não podia terminar sem dedicar algumas palavras de agradecimento a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

Em primeiro lugar, à Bosch Car Multimedia pela oportunidade de realizar a minha dissertação e por me permitir dar os meus primeiros passos em termos profissionais. A toda a equipa e colegas, pelo conhecimento transmitido, pelo ambiente proporcionado e por todo o apoio prestado durante esta etapa.

À Engenheira Bruna Neto, por toda a orientação ao longo deste período e por toda a disponibilidade e partilha de conhecimentos.

Ao Professor Doutor Manuel Lopes Nunes, da Universidade do Minho, pela orientação ao longo da elaboração da minha dissertação.

Aos meus amigos, com quem vivi os melhores momentos da vida académica, pela amizade e por todo o incentivo e apoio em todos os momentos.

À minha irmã, por sempre me apoiar e suportar de forma incondicional em todas as minhas etapas.

Por fim, mas não menos importante, um grande e especial agradecimento aos meus pais, por todo o apoio e pelas oportunidades que me proporcionaram ao longo de todo o meu percurso e por estarem presentes em todos os momentos.

A todos, o meu sincero obrigado!

Cláudia

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A presente dissertação, enquadrada no curso do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho, resulta de um projeto desenvolvido em contexto industrial na empresa Bosch Car Multimédia Portugal, S.A. Os principais objetivos deste projeto encontram-se relacionados com a otimização do tempo despendido na execução das atividades de mudança de uma linha de produção, a obtenção da matriz de *changeover* com o tempo associado à realização da troca de produtos e a definição de procedimentos *standard* para as atividades de mudança de produção da linha.

Uma vez que os tempos de *changeover* ou de *setup* representam tempos improdutivos, a sua redução é essencial para que seja possível aumentar a disponibilidade dos equipamentos e, consequentemente, aumentar a capacidade de produção da linha. Para tal, é necessário que os equipamentos estejam inativos o menor tempo possível durante a sua mudança, sendo isto possível através da realização do máximo de atividades de *setup* enquanto estes se encontram em funcionamento, da otimização de alguns procedimentos e da realização de atividades em paralelo pelos operadores.

Assim, através da aplicação da metodologia *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) e da definição de um *standard* com as melhores práticas para a realização da mudança, foram propostas algumas melhorias que permitiriam reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos durante a realização do *changeover*. Estima-se que com a implementação das mesmas, a duração da execução de tarefas enquanto os equipamentos se encontram inativos fosse reduzida de 22 minutos e 40 segundos para cerca de 17 minutos e 48 segundos, correspondendo a uma diminuição de aproximadamente 21,4%.

Além disso, com a criação de um algoritmo em *Visual Basic* foi possível obter uma estimativa do valor teórico do tempo de perda associado à realização da mudança de um produto para o outro, tendo sido criada a matriz de *changeover*, essencial para o planeamento da produção. Analisando a situação inicial do *changeover* da linha com o cenário que contempla as melhorias sugeridas, o valor de perda de mudança da linha simulado pelo algoritmo diminuiu de 17 minutos e 17 segundos para 11 minutos e 37 segundos, o que equivale a uma redução de 32,8%.

A implementação das melhorias propostas resultaria assim na redução do tempo de perda associado à mudança e, consequentemente, no aumento da disponibilidade da linha, possibilitando um aumento na produção mensal de, aproximadamente, 30 unidades.

PALAVRAS-CHAVE

Changeover, Produção *Lean*, SMED, Trabalho Normalizado

ABSTRACT

The present dissertation, inserted in the Integrated Master's Degree of Industrial Engineering and Management of the University of Minho, results from a project developed in an industrial context at Bosch Car Multimedia Portugal, SA. The main goals of this project are related with the optimization of the time needed to execute changeover activities on a production line, get a changeover matrix with the loss time associated with the change between products and define standard procedures for changing the production line.

Since changeover or setup times are unproductive times, their reduction is essential to increase equipment availability and therefore increase line production capacity. So, it is necessary to reduce the equipment's downtime during its change by executing some activities while it is operating, optimizing some procedures and executing parallel activities by operators.

Thus, through the application of Single Minute Exchange of Dies (SMED) methodology and the definition of a standard with the best practices to perform the changeover process, some proposals were made in order to reduce the equipment downtime during the transition from a product to another. With the implementation of some improvements, it is expected that the total duration of the execution of tasks while workstations are not operating were reduced from 22 minutes and 40 seconds to 17 minutes and 48 seconds, representing a decrease of 21.4%.

In addition, by creating an algorithm using Visual Basic, it was possible to get an estimate of the theoretical value of the loss time associated with the change from one product to another, resulting the changeover matrix to be used on production planning. Analyzing the initial changeover situation of the production line with the scenario that considers the proposed improvements, the simulated loss time associated to changeover by the algorithm decreases from 17 minutes and 17 seconds to 11 minutes and 37 seconds, which represents an improvement of 32.8%.

The implementation of the proposed improvements would result in a reduction of the changeover loss time and, consequently they would increase the line availability, enabling an additional monthly production of approximately 30 units.

KEYWORDS

Changeover, Lean Production, SMED, Standard Work

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Índice.....	viii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xiv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologias de Investigação	4
1.4 Estrutura da dissertação.....	5
2 Revisão Bibliográfica	6
2.1 <i>Toyota Production System</i> - TPS	6
2.2 <i>Lean Production</i>	8
2.2.1 Conceito de valor e tipos de desperdício.....	10
2.2.2 Princípios <i>Lean Thinking</i>	12
2.3 Ferramentas e técnicas <i>Lean</i>	14
2.3.1 Técnica 5S e Gestão Visual	14
2.3.2 <i>Kaizen</i> e Ciclo PDCA.....	16
2.3.3 <i>Standard Work</i>	16
2.3.4 <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM)	17
2.3.5 <i>Single Minute Exchange of Dies</i> (SMED)	21
2.3.5.1 Aspetos não considerados no SMED.....	26
2.3.5.2 Exemplos de aplicação.....	29
2.3.5.3 Técnicas de suporte na implementação do SMED.....	29
2.4 Simulação como suporte à filosofia <i>Lean</i>	31
3 Apresentação da empresa.....	33
3.1 Grupo Bosch	33

3.1.1	Bosch no mundo	33
3.1.2	Visão do Grupo	34
3.1.3	Áreas de negócio	35
3.2	Bosch Car Multimédia Portugal, S.A.	35
3.2.1	Produtos	36
3.2.2	Estrutura organizacional	36
3.2.3	Modelo TPM da Bosch	38
4	Descrição e análise da situação atual	40
4.1	Descrição do processo produtivo	40
4.2	Descrição do processo de <i>changeover</i>	42
4.2.1	Práticas existentes do processo de <i>changeover</i>	42
4.2.2	Tipos de mudanças necessárias na troca entre produtos	43
4.3	Análise crítica do processo de <i>changeover</i> e identificação de problemas	44
4.3.1	Estágio preliminar SMED	44
4.3.2	Estágio 1 – Separação das operações de <i>setup</i> interno e externo	47
4.3.3	Levantamento dos principais problemas	48
4.3.3.1	Tempo despendido na realização das atividades de <i>changeover</i>	49
4.3.3.2	Inexistência de <i>standard</i> para as atividades de mudança de produção	49
4.3.3.3	Inexistência da matriz de <i>changeover</i>	50
5	Propostas de ações de melhoria	55
5.1	Redução da duração das atividades de mudança	55
5.2	Algoritmo para simulação da perda associada ao <i>changeover</i>	60
5.2.1	Premissas estabelecidas para o modelo de simulação	68
5.2.2	Simulação de cenários	72
5.3	Criação do <i>standard</i> para realização da mudança de produção	77
6	Discussão e análise dos resultados	78
6.1	Redução dos tempos de inatividade dos postos durante o processo de <i>changeover</i>	78
6.2	Modelo de simulação para obtenção da matriz de <i>changeover</i>	81
6.3	<i>Standard</i> para o processo de mudança	84

7	Conclusões	85
7.1	Contribuições do trabalho realizado	85
7.2	Limitações do trabalho realizado.....	88
7.3	Trabalho futuro	89
	Referências Bibliográficas	90
	Anexo I – Exemplo de uma Single Point Lesson (SPL)	93
	Anexo II – Folha de estudo dos tempos das operações de <i>changeover</i> da situação inicial.....	94
	Anexo III – Folha de estudo dos tempos das operações de <i>changeover</i> com propostas de melhoria ...	96
	Anexo IV – <i>Standard Work</i> para as atividades de mudança de produção da linha.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da Casa TPS (Baseado em Liker, 2004)	7
Figura 2 – Ilustração dos 3 M's (Pinto, 2014)	12
Figura 3 – Princípios Lean Thinking	13
Figura 4 - Pilares de sustentação do TPM (Baseado em Ahuja & Khamba, 2008)	19
Figura 5 – Os estágios da metodologia SMED (Retirado de Sugai, McIntosh, & Novaski, 2007)	23
Figura 6 – Exemplo de uma matriz de <i>changover</i> (Retirado de Harris & Harris, 2008)	26
Figura 7 – Perdas de produção durante a realização das operações de setup (Retirado de McIntosh et al., 2001)	28
Figura 8 – Divisões Grupo Bosch por área de negócio (Bosch, 2015)	35
Figura 9 – Portefólio de produtos (Bosch, 2015)	36
Figura 10 – Organograma Bosch Car Multimídia S.A. (Bosch, 2019a)	37
Figura 11 – Organograma do Departamento MFE2 (Bosch, 2019a)	37
Figura 12 - Modelo TPM do sistema de produção Bosch (Bosch, 2019a)	38
Figura 13 – Fluxograma do processo produtivo dos produtos A e B (Bosch, 2019a)	40
Figura 14 - Layout da linha e representação do ciclo de cada operador (Bosch, 2019a)	41
Figura 15 – Identificação standard em cada posto da linha com changeover (Bosch, 2019a)	42
Figura 16 – Identificações standard nos locais de arrumação e das ferramentas (Bosch, 2019a)	43
Figura 17 – Representação da forma de cálculo do tempo de changeover nas linhas de produção	43
Figura 18 – Representação dos diferentes tipos de setup necessários em cada posto	45
Figura 19 – Excerto da tabela do estudo dos tempos das operações de changeover da situação inicial	46
Figura 20 – Situação inicial da duração das atividades de changeover por posto	47
Figura 21 – Situação inicial da duração das operações de changeover internas e externas	48
Figura 22 – Média dos tempos de setup dos eventos ocorridos em cada mês durante o período de janeiro e julho (Bosch, 2019a)	51
Figura 23 – Número de peças produzidas por minuto durante o período analisado	52
Figura 24 – Número de peças produzidas em intervalos de 3 minutos durante o período analisado	52
Figura 25 - Mudança de material numa das três caixas no posto PT5	58
Figura 26 – Melhoria no aperto das bases do posto PT14	59
Figura 27 - Folha para preenchimento dos dados para o estudo dos tempos	61
Figura 28 – Inserção dos tempos de ciclo de cada operador para cada produto	62

Figura 29 – Inserção de dados relativamente ao processo de changeover	62
Figura 30 - Alerta gerado em caso de inserção de dados incorretos	63
Figura 31 – Atualização da informação relativamente ao processo de changeover nos campos assinalados	64
Figura 32 – Excerto do relatório de dados resultante da simulação inicial	65
Figura 33 – Apresentação do valor de perda de changeover de uma combinação após a simulação ..	66
Figura 34 – Apresentação da matriz de changeover	66
Figura 35 – Diagrama de Gantt do processo de changeover	67
Figura 36 – Tempo de ciclo e impacto das operações internas de changeover por posto	68
Figura 37 – Ilustração da “Premissa 3”	69
Figura 38 – Ilustração da “Premissa 4” no caso de o operador realizar a mudança no posto	71
Figura 39 – Ilustração das premissas 4a) e 4b)	72
Figura 40 – Resultado do valor de perda de changeover obtido após simulação do cenário 2.....	73
Figura 41 – Gráfico de balanceamento obtido na simulação do cenário 2	73
Figura 42 – Gráfico de balanceamento obtido na simulação do cenário 3	74
Figura 43 - Resultado do valor de perda de changeover obtido após simulação do cenário 4.....	75
Figura 44 - Gráfico de balanceamento obtido na simulação do cenário 4	76
Figura 45 - Matriz de changeover obtida para a linha em estudo	76
Figura 46 – Distribuição das operações de changeover internas e externas com as propostas de melhoria	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Definições do conceito Lean (Adaptado de Bhamu & Sangwan, 2014)	9
Tabela 2 – Influência das seis grandes perdas no OEE	19
Tabela 3 – Etapas fundamentais que levaram ao desenvolvimento da metodologia SMED	23
Tabela 4 - Tempos de ciclo de cada operador para os produtos A e B (Bosch, 2019a)	41
Tabela 5 – Resultados obtidos de acordo com a análise realizada	53
Tabela 6 – Descrição das tarefas de <i>changeover</i> do posto PT4 realizadas de acordo com a situação inicial	56
Tabela 7 – Descrição das tarefas de <i>changeover</i> do posto PT4 após as propostas de melhoria	56
Tabela 8 – Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 1	78
Tabela 9 - Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 2	79
Tabela 10 - Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 3	79
Tabela 11 - Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 4	79
Tabela 12 – Impacto das propostas de melhoria na duração total das operações internas de <i>changeover</i>	81
Tabela 13 – Resultados obtidos relativamente à perda de <i>changeover</i> da situação inicial.....	81
Tabela 14 – Resultados obtidos com a simulação de vários cenários.....	82
Tabela 15 – Comparação dos resultados obtidos nos cenários 2 e 4	83

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BPS – *Bosch Production System*

CM – *Car Multimedia*

JIT – *Just-In-Time*

LP – *Lean Production*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PDCA – *Plan Do Check Act*

PERT – *Program Evaluation and Review Technique*

QCO – *Quick Changeover*

SMED - *Single Minute Exchange of Dies*

SPL – *Single Point Lesson*

TC – *Tempo de Ciclo*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

WIP – *Work in Process*

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se um breve enquadramento do tema que será objeto de estudo desta dissertação, seguindo-se os principais objetivos a atingir, bem como a apresentação das metodologias de investigação adotadas. Por último, descreve-se a forma como a dissertação se encontra organizada.

1.1 Enquadramento

Durante as últimas décadas, as rápidas mudanças na tecnologia, o ambiente dinâmico e a competição global entre as organizações, têm contribuído para tornar o atual ambiente de produção extremamente competitivo. Consequentemente, as empresas sentem cada vez mais a necessidade de melhorar a sua performance para conseguirem reduzir os custos, aumentar a produtividade e qualidade, bem como assegurar a satisfação dos clientes (Ahuja & Khamba, 2008). Com os clientes a exigirem uma entrega cada vez mais rápida e variada de produtos, as empresas vêm-se forçadas a cumprir com este requisito. Uma forma de atender a esta exigência seria proceder à produção e armazenagem de produtos, o que incorreria nos seus custos de armazenamento. Assim, torna-se essencial que as empresas sejam flexíveis, concentrando-se em produzir em pequenos lotes. Apesar de isto implicar a realização de mais mudanças na produção, esta é uma das razões pelas quais as empresas procuram desenvolver e melhorar os seus processos (Lintilä & Takala, 2013). A necessidade de adotar novas estratégias de produção tem-se demonstrado em todo o tipo de indústrias, fazendo com que estas tenham implementado a filosofia *Lean Production* (LP) (Cakmakci, 2009).

O *Toyota Production System* (TPS) surgiu no Japão, após a segunda Guerra Mundial, e assenta em dois pilares: *Just-in-Time* (JIT) – produto requerido no momento certo e quantidade certa – e *Jidoka* – que simboliza a qualidade na fonte e tornar os defeitos visíveis (Jasti & Kodali, 2015). O conceito de *Lean Production* teve como origem o *Toyota Production System*, surgindo formalmente pela primeira vez no artigo “*Triumph of the Lean Production System*”, sendo, posteriormente, conhecido através do livro “*The Machine that Changed the World*” (Krafcik, 1988; Womack, Jones, & Roos, 1990). Este apresenta um estudo em que o desempenho do sistema de produção de uma empresa de automóveis japonesa era muito superior quando comparado com o de uma empresa americana, devido à aplicação da filosofia *Lean* (Krafcik, 1988).

O *Lean Production* traduz-se numa forma de fazer mais com menos: menos esforço humano, menos espaço de produção, menos investimento em máquinas e menos tempo despendido no desenvolvimento de um novo produto (Jasti & Kodali, 2015). Taiichi Ohno apresentou no livro “*The Toyota Production*

System: Beyond Large-Scale Production" (1988), os sete tipos de desperdícios que podem existir, nomeadamente: esperas, defeitos, sobreprodução, transporte, sobre-processamento, stocks e movimentações. Assim, o *Lean* tem como principal objetivo eliminar qualquer atividade do processo que não acrescente valor ao produto e melhorar a qualidade do produto (Oliveira, Sá, & Fernandes, 2017). A aplicação desta metodologia envolve a utilização de várias ferramentas, que possibilitam às empresas a obtenção de melhorias nos seus processos, tais como: *Total Productive Maintenance* (TPM), 5S, Gestão Visual, *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) e *Standard Work* (Jasti & Kodali, 2015; Oliveira et al., 2017).

O *Total Productive Maintenance* é uma metodologia de origem japonesa, desenvolvida por Seiichi Nakajima, que tem como objetivo alcançar zero defeitos, zero falhas, zero desperdícios e zero acidentes na operação dos equipamentos, de modo a maximizar a sua disponibilidade. O TPM implica assim o envolvimento de toda a organização, desde os colaboradores à gestão de topo, bem como a transferência de responsabilidades na execução de algumas tarefas diárias para os operadores, promovendo desta forma a manutenção autónoma (Ahuja & Khamba, 2008; Chan, Lau, Ip, Chan, & Kong, 2005).

Nakajima definiu, no âmbito do TPM, as seis grandes perdas que podem ocorrer nas instalações industriais, nomeadamente: quebras, tempos de preparação e ajustes, pequenas paragens, redução da velocidade, produtos defeituosos e perdas de início de produção (Chan et al., 2005). Adicionalmente, foram identificados os oito pilares que servem de suporte ao TPM: manutenção autónoma, manutenção planeada, melhorias específicas, educação e formação, gestão da qualidade, gestão de novos equipamentos, segurança e meio ambiente e TPM em áreas administrativas (Ahuja & Khamba, 2008). Na base destes pilares encontra-se uma ferramenta *Lean* denominada 5S, que tem como objetivo manter qualquer espaço de trabalho limpo e organizado, permitindo uma melhor gestão visual e uma fácil identificação dos materiais (Oliveira et al., 2017).

Sendo uma das áreas de foco do TPM a redução de tempos de preparação, Shigeo Shingo introduziu uma metodologia designada por SMED – *Single Minute Exchange of Dies*, também conhecida por *Quick Changeover* (QCO) (Shingo, 1985). O tempo de *changeover* refere-se ao tempo associado a todas as atividades de mudança de ferramenta, ajuste, correção e preparação do equipamento que são necessárias realizar para iniciar a produção de um novo tipo de produto, até que a produção atinja a requerida taxa de produção e qualidade (McIntosh, Culley, Gest, Mileham, & Owen, 1996). Assim, o SMED permite simplificar e melhorar todas as atividades realizadas durante a troca de ferramentas, de

modo a atingir uma duração total que contenha apenas um dígito, isto é, que seja inferior a 10 minutos (Benjamin, Murugaiah, & Marathamuthu, 2013).

Uma vez que o *Lean Production* requer a produção de pequenos lotes e de grande variedade de produtos, a aplicação de SMED torna-se então essencial para reduzir o tempo de mudança entre produtos. Contudo, o *Standard Work* constitui também um papel fundamental, sendo uma forma de instruir os operadores para executarem uma determinada tarefa seguindo um conjunto de procedimentos otimizados e definidos. Através do estabelecimento de standards é possível reduzir a ineficiência dos procedimentos de trabalho e, conseqüentemente, reduzir perdas de tempo (Cakmakci, 2009; Oliveira et al., 2017).

Este projeto de dissertação foi desenvolvido na Bosch Car Multimédia S.A., uma empresa que se dedica essencialmente à produção e desenvolvimento de sistemas de informação e entretenimento e sistemas de instrumentação para a indústria automóvel. Mais concretamente, o trabalho foi desenvolvido numa linha de produção, na qual os principais problemas encontram-se relacionados com o elevado tempo despendido na realização das trocas entre a produção dos diferentes produtos, a falta de informação acerca do tempo necessário para executar estas mudanças, bem como a inexistência de um standard para a sua realização. De todas as ferramentas mencionadas anteriormente, o SMED e o *Standard Work* foram as mais relevantes, uma vez que os principais objetivos passaram pela redução dos tempos de mudança de ferramentas na linha de produção e pela otimização e normalização dos seus procedimentos. Além disso, pretendeu-se criar uma matriz com informação acerca do tempo teórico necessário para realizar estas mudanças na linha de produção entre os diferentes tipos de produtos.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos desta dissertação consistiram, de uma forma geral, em implementar e definir procedimentos normalizados de *Quick Changeover* numa linha de produção, com o intuito de reduzir o tempo despendido na realização das suas trocas de produtos, de modo a aumentar a sua disponibilidade, bem como a sua produtividade. Assim, pretendeu-se:

- Implementar ações de melhoria para a otimização de tempos de *changeover*;
- Proceder à medição de tempos e definir o tempo padrão entre mudança de produtos;
- Analisar o impacto das mudanças no balanceamento da linha;
- Definir procedimentos standard para as atividades de mudança de produção;

- Definir uma matriz que contemple o tempo de mudança necessário entre os vários produtos da linha.

1.3 Metodologias de Investigação

Este projeto de dissertação teve início na realização de uma pesquisa detalhada em várias fontes bibliográficas sobre o tema em questão, nomeadamente acerca das diferentes ferramentas *Lean* que possibilitam às empresas a obtenção de melhorias nos seus processos. Assim, foi dada especial ênfase às ferramentas *Total Productive Maintenance*, 5S, Gestão Visual, *Single Minute Exchange of Die* (SMED) e *Standard Work*. Posteriormente, toda a informação recolhida foi sintetizada numa revisão de literatura, de modo a aprofundar o conhecimento acerca do tema em que incidiu este trabalho.

A realização deste projeto de dissertação seguiu uma filosofia de investigação positivista, uma vez que o trabalho foi realizado a partir de uma realidade observável a partir da qual será possível a produção de dados fiáveis. Quanto à abordagem esta foi dedutiva, pois a partir da teoria existente foi testada uma hipótese e, posteriormente, os resultados obtidos examinados (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009). A estratégia de investigação a ser utilizada será a Investigação-Ação (*Action Research*), uma vez que esta segue um processo “*learning by doing*”, na qual um grupo de pessoas se envolve na resolução de um problema, isto é, verificam se o que realizaram foi bem sucedido e, caso não se tenha traduzido em resultados satisfatórios, tentam novamente resolver o problema. Esta estratégia envolve um ciclo de cinco fases: diagnóstico, planeamento de ações, implementação da ação, avaliação e, por último, especificação da aprendizagem (Coughlan & Coughlan, 2002).

Primeiramente, neste projeto foi realizado um diagnóstico e análise da situação atual. Nesta fase procedeu-se à recolha de dados que permitiram retratar o estado atual, bem como entender a dinâmica de todos os processos. Assim, através da observação e da análise de dados e informações já existentes na empresa, o objetivo foi identificar os problemas que pudessem ser alvo de resolução. Este processo de diagnóstico passou por analisar a realização de troca de ferramentas na linha de produção, bem como a análise de gravações em vídeo, identificar as atividades que acrescentam ou não valor, potenciais problemas e verificar os tempos de *setup* ocorridos.

De seguida, procedeu-se ao planeamento de ações que permitiriam resolver os problemas, sendo também importante encontrar novas formas e ideias para melhorar a situação atual. Estas melhorias tiveram como base os princípios *Lean* e, portanto, a implementação da ação passou pela adoção de algumas ferramentas como 5S, *standard work*, SMED, entre outras.

Posteriormente, na fase da avaliação, foi efetuada uma análise dos resultados obtidos com a implementação das propostas de melhoria, tendo como objetivo comparar o estado inicial com o estado atual, de forma a verificar se os objetivos foram ou não alcançados.

Por último, surge a especificação da aprendizagem na qual foram identificadas e obtidas as principais conclusões, fazendo um levantamento de possíveis melhorias e trabalhos futuros.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos. No primeiro capítulo é apresentado um enquadramento ao tema, apresentando-se os principais objetivos, bem como as metodologias de investigação a serem utilizadas para os atingir.

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica relativamente ao tema em questão, sendo abordados alguns conceitos fundamentais para a realização desta dissertação, nomeadamente sobre *Lean Production* e algumas ferramentas e técnicas desta filosofia.

A apresentação da empresa encontra-se no capítulo 3, sendo realizada uma breve descrição da história do Grupo Bosch e da sua presença a nível mundial, bem como da Bosch Car Multimédia Portugal, localizada em Braga, local onde foi desenvolvido o presente projeto de dissertação. Para além disso, é apresentada uma breve descrição da estrutura organizacional e da área onde o trabalho foi desenvolvido.

De seguida, no capítulo 4, a situação inicial da linha de produção em estudo é descrita e analisada, sendo identificados os principais problemas existentes. Por sua vez, no capítulo 5 são apresentadas propostas de melhoria que pretendem reduzir e eliminar os problemas identificados no capítulo anterior. No capítulo 6 é realizada uma discussão e análise dos resultados obtidos com as propostas de melhoria, sendo demonstrado o impacto que estas podem causar. Por fim, o capítulo 7 inclui as conclusões obtidas com a realização deste projeto de dissertação, sendo também assinalados alguns pontos que podem contribuir para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica acerca dos conteúdos que irão ser abordados ao longo de todo este projeto de dissertação. Este inicia-se com uma breve apresentação da origem do *Toyota Production System* (TPS), seguindo-se uma explicação da evolução do conceito de *Lean Production*, bem como dos tipos de desperdício (*muda*) e dos princípios em que se baseia esta filosofia de produção. Posteriormente, são apresentadas algumas das ferramentas e técnicas *Lean*, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização da presente dissertação. O presente capítulo terminará com uma breve alusão às vantagens e às limitações encontradas na implementação da filosofia *Lean Production*.

2.1 *Toyota Production System* - TPS

No período após a Segunda Guerra Mundial, toda a indústria presente no Japão pretendia reerguer-se rapidamente dos efeitos devastadores que a guerra tinha causado. No entanto, devido à escassez de recursos materiais, humanos bem como financeiros, todas as indústrias enfrentavam um período de crise. A *Toyota Motor Company*, empresa japonesa do setor automóvel fundada em 1937 por Kiichiro Toyoda, era uma das empresas que estava inserida neste cenário e pretendia reerguer-se o mais rápido possível, tendo necessidade de se tornar competitiva em relação aos restantes produtores a nível mundial (Ohno, 1988). Em 1950, durante 13 anos de esforço, a *Toyota* foi capaz de produzir 2685 automóveis, enquanto a fábrica Rouge da Ford em Detroit, nos Estados Unidos da América (EUA), era capaz de fabricar 7000 automóveis em apenas um dia (Womack et al., 1990).

Foi então que em 1950, Eiji Toyoda decidiu visitar a fábrica Rouge da Ford em Detroit, para conhecer de perto os métodos de produção em massa daquele que era o maior e mais eficiente complexo fabril do mundo. O seu objetivo era entender de que forma poderia melhorar o sistema de produção da empresa do seu pai, para que fosse possível ultrapassar rapidamente a crise que enfrentava (Liker, 2004). Para melhor se adaptar às restrições do mercado e satisfazer a procura no mercado japonês, a *Toyota* necessitava de produzir pequenas quantidades de modelos automóveis diferentes. Contudo, os sistemas de produção em massa idealizados por Henry Ford, apesar dos custos reduzidos, eram destinados à produção de grandes quantidades de um número limitado de modelos, sendo constituídos por sistemas rígidos e muito complexos (Liker, 2004; Womack et al., 1990).

Então Shigeo Shingo juntamente com Taiichi Ohno, engenheiro da *Toyota*, através da realização de algumas visitas aos EUA e fazendo um *benchmarking* das práticas usadas na Ford, adaptaram o processo

de fabrico em massa e desenvolveram um sistema de produção totalmente novo: o *Toyota Production System* (TPS) (Liker, 2004; Ohno, 1988).

A ideia principal do *Toyota Production System* consiste em manter um fluxo contínuo dos produtos que estão a ser fabricados, de modo a garantir flexibilidade na produção face às alterações da procura. Assim, o TPS visa a remoção de qualquer tipo de desperdício e inconsistência no sistema produtivo, através da aplicação de técnicas de prevenção de defeitos e erros durante o processo de fabrico, com o objetivo de produzir apenas as quantidades necessárias e obter um produto final com um custo menor, melhor qualidade e no menor tempo possível (Jasti & Kodali, 2015; Liker, 2004; Nakajima, 1988). Para além disso, este modelo pretende que os equipamentos, os materiais e as pessoas sejam geridos da forma mais eficiente possível, assegurando um ambiente de trabalho seguro e tendo em conta o respeito pela humanidade (Liker, 2004; Nakajima, 1988).

Fujio Cho, discípulo de Taichi Ohno, desenvolveu uma representação através de uma casa para ilustrar os princípios do *Toyota Production System* (Figura 1). A razão pela qual o modelo está representado através de uma casa deve-se ao facto da sua robustez e estabilidade serem dependentes da sua base, bem como dos pilares que a suportam (Liker, 2004).



Figura 1 – Representação da Casa TPS (Baseado em Liker, 2004)

No teto da casa estão representados os principais objetivos do TPS, tais como melhorar a qualidade, reduzir os custos e o *lead time*, assim como assegurar a segurança dos colaboradores. Segundo Ohno (1988), estes objetivos baseiam-se em dois grandes pilares, sendo eles o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*.

O primeiro pilar consiste em garantir que todos os processos passem a produzir o artigo necessário, na quantidade necessária e no período necessário, de modo a reduzir os níveis de inventário. O objetivo é

assim produzir pequenos lotes, diminuindo o nível de inventário e, conseqüentemente, o tempo de atravessamento do produto (*lead time*) (Jasti & Kodali, 2015; Liker, 2004). Para tal é necessário que a troca de ferramentas nas máquinas seja realizada de forma rápida (*quick changeover*), de modo a reduzir os tempos de *setup* bem como o tempo de indisponibilidade das máquinas (Jasti & Kodali, 2015; Ohno, 1988).

O segundo pilar, que diz respeito ao termo japonês “*Jidoka*” ou “*Autonomation*”, simboliza a qualidade na fonte e pretende tornar os defeitos visíveis. Este tem como objetivo melhorar a qualidade dos produtos dando autonomia aos operadores para decidirem parar as operações e equipamentos sempre que seja detetada uma condição anormal ou defeituosa. Assim, a essência deste pilar é impedir que uma peça defeituosa de uma operação precedente prossiga para os próximos postos de trabalho, recorrendo a sistemas como por exemplo, o *Andon*, que visa notificar visualmente através de um sinal luminoso e sonoro, a necessidade de resolver um determinado problema (Liker, 2004; Sugimori, Kusunoki, Cho, & Uchikawa, 1977).

No centro da Casa TPS encontram-se o trabalho em equipa e as pessoas, as quais devem ser treinadas para serem capazes de identificar desperdícios, bem como resolver os problemas na causa raiz. Por exemplo, através da utilização da abordagem sistemática dos cinco porquês para identificar a causa fundamental dos problemas. Só assim é possível a eliminação de desperdícios e a busca pela melhoria contínua, também conhecido pelo termo japonês *Kaizen*, que significa “mudar para melhor”, e assim obter a estabilidade necessária nas operações (Liker, 2004).

Na base da casa estão presentes vários elementos, que incluem a necessidade de processos normalizados e estáveis, assim como a existência de um nivelamento da produção quer em volume e variedade (*heijunka*) que, de acordo com Liker (2004), é essencial para manter o sistema estável e com o mínimo inventário possível. Também na base está presente a utilização de mecanismos de Gestão Visual e da filosofia Toyota.

2.2 *Lean Production*

O conceito de *Lean Production* (LP) teve como origem o *Toyota Production System* e apareceu formalmente pela primeira vez no artigo “*Triumph of the Lean Production System*”, desenvolvido por Krafcik, investigador do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) (1988). Neste artigo, Krafcik (1988) apresentou um estudo em que o desempenho do sistema de produção de uma empresa de automóveis

japonesa, a Toyota, era muito superior quando comparado com o de uma empresa americana, devido à aplicação da filosofia de produção *Lean*.

Porém, só a partir da crise do petróleo em 1973, é que as práticas de produção da Toyota, desconhecidas até ao momento, começaram a gerar interesse por parte de outras empresas japonesas. Esta nova abordagem à produção foi sendo também aplicada de forma gradual por todo o mundo, abrangendo não só a indústria automóvel bem como indústrias de outros tipos de produtos (Liker, 2004; Shah & Ward, 2007). Posteriormente, em 1990, o conceito “*Lean Production*” tornou-se popular através do livro “*The Machine that Changed the World*” de Womack, Jones e Roos, o qual foi utilizado para caracterizar o sistema de produção da Toyota. Este *best-seller* causou um grande impacto no setor automóvel, visto ter demonstrado, através de estudos comparativos, a superioridade dos métodos utilizados nas empresas japonesas em relação aos Europeus e Norte Americanos (Pinto, 2014).

Shah e Ward (2007) analisaram as primeiras publicações relacionadas com o sistema de produção Japonês, bem como as publicações mais recentes acerca do *Lean Production*, e constataram a existência de várias definições sobre este conceito, não havendo portanto uma definição clara e objetiva. Na Tabela 1 encontram-se algumas definições sintetizadas no artigo “*Lean Manufacturing: Literature Review and Research Issues*” de Bhamu e Sangwan (2014).

Tabela 1 – Definições do conceito *Lean* (Adaptado de Bhamu & Sangwan, 2014)

Autor (Ano)	Definições de <i>Lean</i>
Womack et al. (1990)	<i>“Lean production is ‘lean’ because it uses less of everything compared with mass production – half the human effort in the factory, half the manufacturing space, half the investment in tools, half the engineering hours to develop a new product in half the time. Also, it requires keeping far less than half the needed inventory on site, results in many fewer defects, and produces a greater and ever growing variety of products.”</i>
Womack and Jones (1994)	<i>“Lean production can be defined as an alternative integrated production model because it combines distinctive tools, methods, and strategies in product development, supply management, and operations management into a coherent whole.”</i>
Liker’s (1996)	<i>“A philosophy that when implemented reduces the time from customer order to delivery by eliminating sources of waste in the production flow.”</i>
Liker and Wu (2000)	<i>“A philosophy of manufacturing that focusses on delivering the highest quality product on time and at the lowest cost.”</i>
Shah and Ward (2007)	<i>“Lean is a management philosophy focussed on identifying and eliminating waste throughout a product’s entire value stream, extending not only within the organization, but also along its entire supply chain network.”</i>

Deste modo, existem diversas definições de vários autores relativamente ao conceito *Lean*. Contudo, todas as definições abordam os principais objetivos do *Lean Production*, i.e., responder à procura dos clientes eliminando qualquer atividade do processo que não acrescente valor ou que represente desperdício, tendo como objetivo a produção de produtos e serviços ao menor custo possível e tão rápido quanto exigido pelo cliente, sem utilização de recursos adicionais (Bhamu & Sangwan, 2014; Womack & Jones, 1996).

2.2.1 Conceito de valor e tipos de desperdício

Como anteriormente referido, o *Lean Production* pretende eliminar qualquer tipo de atividade que represente desperdício no decorrer dos vários processos necessários para a fabricação de um produto ou serviço (Bhamu & Sangwan, 2014; Womack & Jones, 1996). O termo “desperdício” (*muda* em Japonês) diz respeito a qualquer atividade que apesar de consumir recursos, não acrescenta valor aos produtos e serviços e que, portanto, o cliente não está disposto a pagar. De acordo com Womack e Jones (1996), é possível identificar três tipos de atividades num contexto de produção:

- Atividades que efetivamente acrescentam valor na perspetiva do cliente;
- Atividades que não geram valor, mas que são necessárias e, portanto, têm de ser realizadas (*muda* tipo um);
- Atividades que não agregam valor e que podem ser evitáveis, devendo ser imediatamente eliminadas (*muda* tipo dois).

Melton (2005) e Pinto (2014) referem que apenas 5% das atividades realizadas nas indústrias constituem atividades de valor acrescentado. Das restantes atividades que não geram valor ao produto ou serviço, 35% consistem em atividades que não acrescentam valor, mas são necessárias e 60% representam “puro” desperdício. Assim sendo, a eliminação de desperdícios representa uma enorme fonte de melhoria para qualquer organização, visto a maior parte do tempo ser despendido na realização de tarefas desnecessárias e totalmente dispensáveis.

Taiichi Ohno apresentou no livro “*The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*” (1988), os sete tipos de desperdícios que podem existir (Liker, 2004; Melton, 2005; Ohno, 1988):

- **Sobreprodução** – Diz respeito a tudo o que é produzido mais cedo e excessivamente sem que o cliente tenha pedido. Isto resulta no consumo de mais recursos de produção, no aumento dos níveis de *stock*, bem como dos custos do seu armazenamento, controlo e transporte.

- **Esperas** – Quando existem períodos longos de paragem de pessoas, equipamentos ou do produto devido a atrasos na produção, avarias de equipamentos ou a existência de estrangulamentos na produção (Liker, 2004; Melton, 2005).
- **Transporte** – Sempre que a matéria-prima, os produtos intermédios ou os produtos acabados são transportados para armazéns ou entre processos, mesmo que por pequenas distâncias. Tudo isto traduz-se em desperdício, uma vez que os produtos não estão a ser processados e não está a ser acrescentado nenhum valor na perspetiva do cliente.
- **Inventário** – Encontra-se relacionado com a acumulação de elevados níveis de inventário, seja de matérias-primas, produtos intermédios ou produtos acabados, originando um aumento do *lead time*, obsolescência, produtos danificados e um aumento dos custos associados a transportes e armazenamento. Este tipo de desperdício encobre a existência de outros problemas, tais como: produção desnivelada, atrasos nas entregas por parte dos fornecedores, elevados períodos de inatividade dos equipamentos e de tempos de *setup*.
- **Sobre-processamento** – Quando são realizadas etapas desapropriadas para o fabrico do produto, levando à execução de atividades a mais do que as requisitadas pelo cliente, em termos de qualidade e características do produto. Exemplos disto são as atividades de retrabalho, resultantes de processos ineficientes devido a ferramentas e *design* do produto pouco robusto e da falta de conhecimento e formação dos operadores.
- **Movimentações** – Dizem respeito a todo o tipo de movimentações desnecessárias realizadas pelos operadores durante o seu trabalho, como: alcançar, procurar ou empilhar ferramentas ou peças, assim como caminhar.
- **Defeitos** – Quando ocorrem erros durante o processo que originam produtos ou serviços cujas características não correspondem às especificações do cliente, levando à sua insatisfação. As não conformidades originam retrabalho ou trabalho adicional para permitir a correção dos artigos defeituosos, implicando manuseamentos, tempo e esforço desperdiçados.

Contudo, além dos sete desperdícios referidos anteriormente, Liker (2004) refere ainda a existência de um oitavo desperdício, sendo este o não aproveitamento do potencial dos operadores, quando estes não são envolvidos. Este desperdício representa assim as perdas de tempo, ideias, capacidades e oportunidades de melhoria ao não incluírem os operadores, pois são estes que melhor conhecem todos os processos.

O termo Japonês *muda* é utilizado quando se pretende fazer referência a qualquer tipo de desperdício, sendo a eliminação dos *muda* um dos grandes objetivos do *Lean*. Porém, este faz parte de um conceito mais abrangente, os 3M's (*Muda*, *Mura* e *Muri*) (Figura 2). *Mura* diz respeito às irregularidades ou às variabilidades excessivas, representando inconsistências nos sistemas produtivos que podem ser resultantes da produção irregular devido ao tempo de inatividade dos equipamentos ou da falta de materiais. Por sua vez, *Muri* refere-se à sobrecarga de pessoas ou dos equipamentos, levando-os até aos seus limites. Consequentemente, esta sobrecarga poderá causar problemas de segurança e de qualidade, havendo a possibilidade de existência de avarias e de defeitos (Liker, 2004).

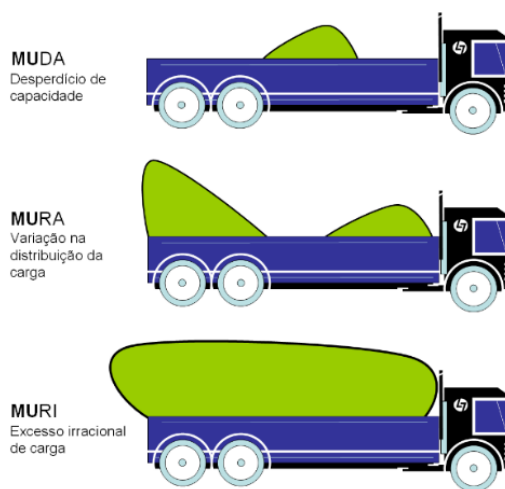


Figura 2 – Ilustração dos 3 M's (Pinto, 2014)

Assim, os 3 M's, também considerados como os sintomas de desperdícios, encontram-se interligados, pelo que apesar da eliminação dos *Muda* ser um dos principais objetivos do *Lean Production*, este procura a eliminação de todos os tipos de desperdícios. Só através da redução e da eliminação destes 3M's é que é possível criar valor ao produto ou serviço (Liker, 2004; Pinto, 2014).

2.2.2 Princípios *Lean Thinking*

Ao ser adotado um pouco por todo mundo, o *Lean Production* foi alterando a sua designação sendo substituído por "*Lean Manufacturing*", "*Lean Management*", "*Lean Thinking*", tendo sempre presente o termo "*Lean*". Contudo, nem sempre a aplicação desta nova metodologia foi bem-sucedida. Foi então que em 1996, os autores Womack e Jones publicaram o livro "*Lean Thinking – Banish Waste in your Corporation*", no qual introduziram uma nova filosofia de pensamento, o *Lean Thinking*, e definiram os cinco princípios nos quais a filosofia assenta. Estes cinco princípios, representados na Figura 3 correspondem às cinco etapas que permitem a sua correta implementação nas organizações, sendo eles (Womack & Jones, 1996):

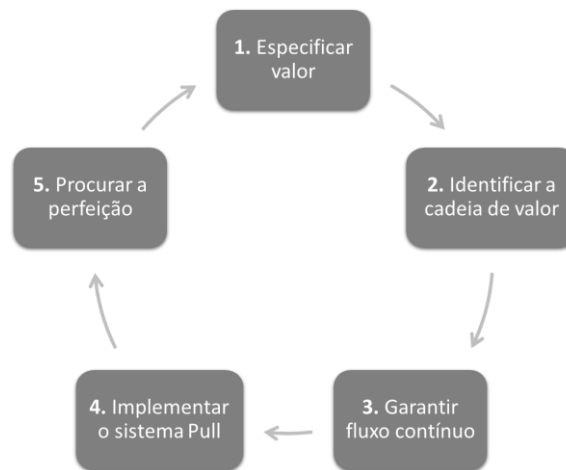


Figura 3 – Princípios *Lean Thinking*

1. **Especificar o valor** – O ponto de partida do *Lean Thinking* é a identificação do valor, isto é, especificar com precisão o que acrescenta valor ao produto ou serviço na perspectiva do cliente. Este passo é fundamental devendo as organizações encontrar a melhor forma de responder às necessidades do cliente e ir ao encontro das suas expectativas.
2. **Identificar a cadeia de valor** – A cadeia de valor (*Value Stream*) é o conjunto de todas as ações específicas necessárias para a fabricação de um produto ou serviço, envolvendo todos os processos necessários desde o fornecedor até ao cliente. Assim, a segunda etapa consiste em identificar a cadeia de valor para cada produto ou família de produtos. Após a sua análise será possível identificar três tipos de atividades: as que realmente acrescentam valor, as que não geram valor, mas são necessárias e, por último, as que não agregam valor, devendo, portanto, ser eliminadas pois são consideradas desperdício (*muda*).
3. **Criar fluxo** – Após terem sido identificadas as atividades que acrescentam valor ao produto e eliminadas todas as que representam desperdício, é essencial a criação de um fluxo contínuo de produção, isto é, garantir uma produção fluida de um produto em toda a cadeia de valor. De acordo com Taichii Ohno e os seus colaboradores técnicos, incluindo Shigeo Shingo, a criação de um fluxo contínuo na produção de pequenos lotes revela ser um grande desafio, sendo necessário trocar as ferramentas de um produto para outro de uma forma rápida.
4. **Implementar o sistema “pull”** – Ao contrário do que acontece num sistema empurrado (“push”), no qual as organizações produzem para *stock*, no sistema de produção puxada (“pull”) a produção inicia apenas quando o cliente realiza o pedido. Desta forma, através da implementação do sistema “pull”, apenas é fabricada a quantidade necessária e no período necessário, evitando assim desperdícios como excesso de *stock*.

5. **Procurar a “perfeição”** – Após a implementação dos quatro princípios referidos anteriormente, não existe um fim definido no processo de redução de esforço, tempo, espaço, custos e falhas, para aproximar cada vez mais um produto às necessidades e requisitos do cliente. Portanto, é necessária a implementação de uma cultura onde se procure melhorar continuamente os processos, tentando sempre eliminar desperdícios, iniciando-se assim num ciclo de melhoria contínua (*kaizen*).

Em suma, os cinco princípios inerentes ao *Lean* encontram-se relacionados com a ênfase no cliente e a busca constante da melhoria contínua, procurando reduzir qualquer tipo de desperdício durante todos os processos. Assim, para que uma organização siga esta filosofia de produção é necessário que esta garanta que o produto flua através dos vários processos que agregam valor sem interrupção (*one-piece flow*), através de um sistema puxado, no qual a partir do pedido do cliente é produzido apenas o necessário. Para além disso, é essencial a existência de uma cultura onde todos se esforçam para melhorar os processos (Liker, 2004).

2.3 Ferramentas e técnicas *Lean*

A aplicação da filosofia de produção *Lean Production* envolve a utilização de várias ferramentas que possibilitam às empresas a obtenção de melhorias nos seus processos. Exemplos de algumas ferramentas e técnicas *Lean* que podem ser aplicadas são: técnica 5S, Gestão Visual, *Standard Work*, *Total Productive Maintenance* (TPM) e *Single Minute Exchange of Die* (SMED) (Jasti & Kodali, 2015; Oliveira et al., 2017).

2.3.1 Técnica 5S e Gestão Visual

A técnica 5S foi criada com o objetivo de manter qualquer espaço de trabalho limpo e organizado, permitindo uma melhor gestão visual e uma fácil identificação dos materiais (Oliveira et al., 2017). Esta ferramenta, cujo nome deriva das iniciais das palavras japonesas *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*, é constituída por cinco etapas (Feld, 2001):

- ***Seiri*** (Organização) – Foca-se na separação das ferramentas e materiais que são efetivamente necessários durante o processo produtivo dos desnecessários, e na remoção de tudo o que é dispensável no local de trabalho, de modo a deixar apenas o essencial e a melhorar a utilização do espaço.

- ***Seiton*** (Arrumação) – Organizar os materiais de modo a facilitar a sua procura e utilização, assim como a economizar tempo para os encontrar. Assim, é necessário assegurar que cada material tem o seu lugar definido e que se encontra devidamente identificado para uma imediata visualização.
- ***Seiso*** (Limpeza) – Manter o espaço de trabalho limpo, garantindo que os materiais se encontram sempre no seu local de arrumação. A manutenção da limpeza deve ser realizada diariamente no final do turno de trabalho de modo a aumentar a segurança e a qualidade.
- ***Seiketsu*** (Normalização) – Após terem sido implementadas as três etapas anteriores, torna-se necessário normalizar e estabelecer as melhores práticas a serem realizadas para manter o espaço de trabalho limpo e organizado. Para tal devem ser detalhadas as atividades do 5S que serão executadas diariamente e as responsabilidades de cada um dos colaboradores.
- ***Shitsuke*** (Autodisciplina) – A última etapa consiste em disciplinar e em desenvolver um método que garanta que a técnica 5S é cumprida por todos os colaboradores. Isto requer a mudança de hábitos de toda a organização, devendo ser reforçada a importância para o cumprimento das práticas definidas anteriormente.

Portanto, os 5S's defendem que tudo deve ter um local de arrumação e que tudo deve estar no devido local. Para tal, o envolvimento e a colaboração de todos são necessários para que se consiga obter um ambiente de trabalho limpo, organizado e seguro. Esta técnica, que não requer grande investimento financeiro, passou a ser uma das técnicas adotadas por várias organizações, como um pré-requisito dos seus modelos de gestão, tendo várias vantagens associadas, nomeadamente: materiais e ferramentas facilmente visíveis e identificáveis, redução do tempo de procura dos materiais, melhor utilização do espaço e obtenção de um ambiente de trabalho mais agradável e seguro (Feld, 2001).

A Gestão Visual é considerada a base de algumas técnicas *Lean*, como os 5S's e o *Standard Work*, e consiste na utilização de meios de comunicação que auxiliem os colaboradores na execução das suas operações de forma rápida e intuitiva, quer através de sinalizações ou de documentações. O objetivo é permitir que os operadores visualizem onde e quantos produtos pertencem a um determinado lugar, qual o procedimento *standard* que deve ser realizado numa determinada operação ou ainda verificar qual o estado atual de um determinado processo (Feld, 2001; Liker, 2004).

Portanto, a utilização de mecanismos de Gestão Visual, assim como da técnica 5S, promovem o desenvolvimento de várias melhorias para as organizações, possibilitando ainda que qualquer pessoa

possa gerir o ambiente de trabalho de forma autónoma, reduzir os erros e outros tipos de desperdícios (Oliveira et al., 2017).

2.3.2 *Kaizen* e Ciclo PDCA

A melhoria contínua ou *Kaizen* (palavra de origem japonesa) significa a “busca pela perfeição” e consiste na procura incessante de formas para melhorar o estado atual, criando cada vez mais valor com menos *muda* (desperdício) (Womack & Jones, 1996). O conceito “*kaizen*” foi introduzido por Maasaki Imai, no livro “Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success” (1986), no qual o definiu como uma filosofia de “melhoria contínua envolvendo toda a gente – gestão de topo, gestores e operadores”. Assim esta abordagem consiste em melhorar continuamente qualquer trabalho, enfatizando a importância de envolver todos os elementos de todos os níveis da organização, pretendendo também inculcar o espírito e a cultura de aprendizagem contínua, onde a mudança para melhor seja sempre aceite (Imai, 1997; Liker, 2004).

No âmbito desta metodologia surge uma outra ferramenta muito utilizada para garantir a continuidade do *kaizen*, como uma forma de manter e melhorar os *standards*: o ciclo PDCA. Este ciclo foi apresentado por Wiliam Edwards Deming como uma ferramenta de melhoria contínua para gestão da qualidade, inicialmente desenvolvida por Shewhart, sendo constituído pelos seguintes passos (Imai, 1997):

- **Plan (Planeamento)** – Estabelecer metas e objetivos a atingir, assim como as ações necessárias a realizar para obter os resultados pretendidos.
- **Do (Execução)** – Implementar as ações planeadas anteriormente.
- **Check (Verificação)** – Verificar o desempenho das ações implementadas e comparar os resultados obtidos com as metas e objetivos definidos inicialmente.
- **Act (Agir)** – Agir de acordo com os resultados alcançados, procedendo-se à normalização do processo de acordo com as novas ações implementadas ou definindo novos planos de ação de melhoria, de forma a aprimorar os resultados já obtidos.

2.3.3 *Standard Work*

O *Standard Work* ou Trabalho Normalizado corresponde a uma instrução de trabalho que define detalhadamente qual o melhor método e sequência a serem realizados numa determinada tarefa, da forma mais eficiente e segura (Ortiz, 2006; Womack & Jones, 1996). Este constitui um papel

fundamental, sendo considerado uma forma de instruir os operadores para executarem uma determinada tarefa seguindo um conjunto de procedimentos otimizados e definidos (Cakmakci, 2009).

Ohno refere que o *standard work* é uma forma precisa de descrever uma determinada atividade, no qual devem ser especificados três elementos essenciais (Ohno, 1988):

- **Takt Time** – Taxa em que os produtos devem ser produzidos de modo a satisfazer a procura do cliente.
- **Sequência de *Standard Work*** – Melhor ordem e método pelo qual um operador deve realizar um conjunto de operações.
- **Work in Process (WIP) normalizado** – Quantidade mínima de *stock* necessária para garantir a fluidez do sistema de produção.

Através do estabelecimento de *standards* é possível reduzir a ineficiência dos procedimentos de trabalho, eliminar a variação e a inconsistência de resultados e, conseqüentemente, reduzir perdas de tempo e garantir qualidade dos processos ou serviços. Estes objetivos podem ser obtidos documentando as “boas práticas” que devem ser realizadas no decorrer de um processo e assegurando que os operadores cumprem as operações descritas nos *standards* exatamente da forma como estão definidas (Oliveira et al., 2017). A envolvimento de todos é crucial na implementação do *standard work*, uma vez que é necessário que todos compreendam como funciona, para que posteriormente seja possível encontrar oportunidades de melhoria a partir dos erros que se cometem e iniciar assim um processo de melhoria contínua (Ortiz, 2006).

Imai (1997) e Liker (2004) referem que o *standard work* é um dos aspetos mais importantes para sustentar a filosofia *Lean* e que não pode haver melhoria contínua (*kaizen*) sem normalização, pois este é considerado o ponto de partida. Assim, nenhum processo pode ser melhorado sem antes possuir um *standard*, uma vez que a implementação de qualquer melhoria sem este estar normalizado, não permite obter um efeito desejável.

2.3.4 *Total Productive Maintenance* (TPM)

A Manutenção Produtiva Total ou o *Total Productive Maintenance* (TPM) é uma metodologia de origem japonesa, cujo conceito foi introduzido pela empresa Nippondenso, um dos fornecedores da *Toyota Motor Company*, no ano de 1971. Seiichi Nakajima, considerado o pai do TPM, define esta metodologia como “uma abordagem inovadora para a manutenção, que otimiza a eficiência dos equipamentos, elimina as

avarias e promove a realização de tarefas de manutenção autónoma por parte dos operadores, através de atividades do dia a dia que envolvem todos os trabalhadores” (Nakajima, 1988).

Portanto, esta metodologia de gestão da manutenção tem como objetivo alcançar zero defeitos, zero falhas, zero desperdícios e zero acidentes na operação dos equipamentos, de modo a maximizar a sua disponibilidade e a melhorar a sua eficácia bem como a sua eficiência (Ahuja & Khamba, 2008). O TPM implica assim o envolvimento de toda a organização, desde os colaboradores à gestão de topo, bem como a transferência de responsabilidades na execução de algumas tarefas diárias para os operadores. Assim, estes passam a realizar atividades de manutenção diária (limpeza, inspeções, lubrificação, ajustes, etc.) e a cuidar dos seus equipamentos, promovendo desta forma a Manutenção Autónoma, na qual os técnicos deixam de ser os únicos responsáveis pelos equipamentos (Ahuja & Khamba, 2008; Chan et al., 2005).

Segundo Nakajima (1988) a palavra “Total” no TPM possui três significados distintos:

- **Total eficácia** – Significa a busca pela eficiência económica e a melhoria da produtividade, através da manutenção dos equipamentos.
- **Manutenção Total** – Significa projetar e desenvolver equipamentos cujo design incorpore características que permitam melhorar a sua fiabilidade e a manutenibilidade. O objetivo é facilitar a sua manutenção, fazendo com que seja necessário o mínimo de manutenção e aumentar ao máximo a disponibilidade dos equipamentos.
- **Participação Total** – Significa o envolvimento e participação de todos os colaboradores, através da realização de atividades em pequenos grupos, onde os operadores são também responsáveis por cuidar dos seus equipamentos através da Manutenção Autónoma.

Nakajima definiu também no âmbito do TPM as seis grandes perdas que podem ocorrer nas instalações industriais, nomeadamente: quebras, tempos de ajustamento e preparação (*setup*), pequenas paragens, redução da velocidade, produtos defeituosos e perdas de início de produção (Chan et al., 2005). Estas perdas têm influência no indicador de eficiência global do equipamento, o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), o qual permite analisar a eficiência de um único equipamento ou de um sistema integrado de produção. O seu cálculo engloba três fatores: Disponibilidade do equipamento (D), Performance do equipamento (P) e Qualidade da produção (Q), sendo calculado através da seguinte fórmula:

$$OEE = D \times P \times Q$$

Segundo Ahuja e Khamba (2008), um OEE de 85% é considerado como o valor de referência de desempenho da classe mundial. As seis grandes perdas referidas anteriormente podem afetar de forma direta cada um dos fatores do OEE, tal como se encontra representado na Tabela 2 (Chan et al., 2005).

Tabela 2 – Influência das seis grandes perdas no OEE

Tipo de perda OEE	Seis grandes perdas
Perdas de Disponibilidade (D)	Avarias
	Tempos de ajustamento e preparação (<i>setup</i>)
Perdas na Performance (P)	Pequenas paragens
	Redução da velocidade
Perdas na Qualidade (Q)	Produtos defeituosos
	Perdas de início da produção

Adicionalmente, Nakajima identificou os oito pilares que servem de suporte ao TPM, encontrando-se na base de todos os pilares a implementação da técnica dos 5S's, tal como se encontra representado na Figura 4 (Ahuja & Khamba, 2008; Nakajima, 1988).

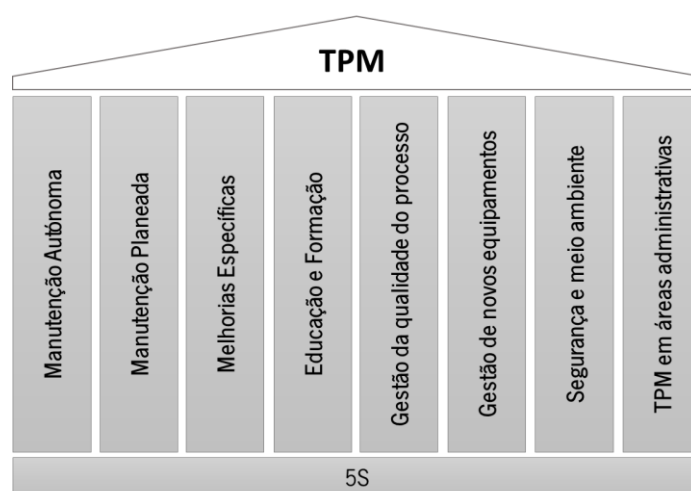


Figura 4 - Pilares de sustentação do TPM (Baseado em Ahuja & Khamba, 2008)

Os oito pilares que sustentam o modelo TPM são os seguintes (Pinto, 2013):

1 Manutenção autónoma

Este pilar consiste no envolvimento e comprometimento dos operadores na realização de atividades básicas de manutenção nos seus equipamentos, como por exemplo, inspeção, lubrificação e realização de pequenas intervenções. Logo, cada operador deve sentir-se responsável pelo seu local

de trabalho, bem como dos meios disponíveis, deixando os técnicos de serem os únicos responsáveis pela manutenção dos equipamentos (Ahuja & Khamba, 2008; Chan et al., 2005; Pinto, 2013).

2 Manutenção planeada

A manutenção planeada tem como objetivo garantir a ausência de falhas nos equipamentos e a produção de defeitos, de modo a obter a total satisfação do cliente. Com este pilar, os esforços das pessoas vão sendo encaminhados de forma gradual de um estilo de manutenção reativa para uma rotina de manutenção proativa, a qual permite alcançar e manter a disponibilidade dos equipamentos e processos em condições ótimas, melhorar a sua fiabilidade e manutenibilidade e reduzir os *stocks* de peças.

3 Melhorias específicas

Este pilar baseia-se em todas as atividades de melhoria em equipamentos e instalações que permitam maximizar a eficiência, eliminando os desperdícios e perdas de produção. Pinto (2013) refere que devem ser utilizadas ferramentas *Lean* para revelar as causas dos problemas e dos desperdícios (*mudas*) e, posteriormente, proceder à redução ou até mesmo à sua remoção.

4 Educação e formação

O processo de implementação dos vários pilares do TPM revela por vezes a necessidade de garantir a educação e formação de todos os operadores de manutenção, qualidade, produção, entre outros. Assim, torna-se essencial a realização de formações para que todos possam aprender continuamente e desenvolver as suas competências técnicas, para que consigam melhorar a capacidade de resolução de problemas (Pinto, 2013).

5 Gestão da qualidade

Este pilar pretende evitar a produção de defeitos ou de erros de qualidade, sendo necessária a utilização de mecanismos de deteção e prevenção de erros (*poka-yoke*) e de sistemas que permitam alertar a existência de uma não conformidade, evitando a sua propagação (*jidoka*). Assim, a gestão da qualidade tem como objetivo a implementação de ações preventivas, de modo a agir sobre as falhas nos equipamentos ou processos antes que estas aconteçam (Pinto, 2013).

6 Gestão de novos equipamentos

Neste pilar pretende-se que os conhecimentos adquiridos com as máquinas existentes sejam incluídos durante a fase de planeamento e construção de novos equipamentos, de forma a que

determinadas características sejam consideradas na sua concepção. Isto permite que os novos equipamentos possuam um elevado grau de fiabilidade, robustez, manutenibilidade, durabilidade e que tenham menos custos totais ao longo do seu ciclo de vida (Pinto, 2013).

7 Segurança e meio ambiente

Sendo um dos objetivos do TPM a obtenção de “zero acidentes”, torna-se essencial que as melhorias resultantes dos pilares referidos anteriormente, não coloquem em causa a segurança dos operadores. Para além disso, estas não devem prejudicar o meio ambiente. Portanto, este pilar tem como principais objetivos a melhoria das condições de trabalho e da redução dos riscos a nível da segurança dos operadores e a nível ambiental (Pinto, 2013).

8 TPM em áreas administrativas

Uma vez que a administração suporta o desempenho dos equipamentos e instalações, não devem ser implementadas melhorias apenas no chão de fábrica, sendo também essencial a aplicação das atividades TPM nos processos administrativos. Pinto (2013) enumera alguns exemplos de perdas existentes a nível da administração e que deverão ser eliminadas: perdas por falhas de comunicação, perdas por falta de precisão e exatidão e existência de queixas e reclamações de clientes devido a falhas nas entregas.

2.3.5 *Single Minute Exchange of Dies* (SMED)

De acordo com Ohno (1988), o *Toyota Production System* visa a eliminação de desperdícios. Deste modo, foram desenvolvidas técnicas como a produção em pequenos lotes e de grande variedade de produtos. Contudo, a criação de um fluxo contínuo na produção de pequenos lotes implicava que fossem realizadas trocas de ferramentas de um produto para outro com frequência e de uma forma rápida, possuindo o TPS o seguinte *slogan* de produção: “*small lot sizes and quick setups*” (Ohno, 1988). Desta forma, era claro a pertinência de agilizar e melhorar todas as atividades realizadas durante a troca de ferramentas para tornar o procedimento de *setup* rápido. Assim, tendo em conta que estas operações não acrescentam valor, aumentando os custos associados ao produto, o processo de *setup* deve ser minimizado ou, de preferência, eliminado de forma a reduzir ao máximo o tempo improdutivo (Benjamin et al., 2013; Womack & Jones, 1996). Shingo (1985) afirma que, normalmente, o tempo despendido em operações de *setup* divide-se da seguinte forma:

- Testes e afinações finais: 50%;
- Preparação e arrumação de materiais e ferramentas: 30%;

- Medições e ajustes: 15%;
- Remoção e colocação de materiais e ferramentas: 5%.

Segundo McIntosh et al. (2001), o *setup* ou *changeover* refere-se a todas as atividades de mudança de ferramenta, ajuste, correção e preparação do equipamento que são necessárias realizar para iniciar a produção de um novo tipo de produto, até que se estabilize a produção e sejam alcançadas as taxas de produção e qualidade esperadas.

Goubergen e Landeghem (2002) referem três razões principais para a redução dos tempos de *setup*:

- Flexibilidade e redução de inventário, uma vez que a produção de uma grande variedade de produtos em pequenas quantidades permite uma resposta rápida à constante mudança da procura dos clientes, reduzindo ao mesmo tempo os custos associados ao armazenamento de elevados níveis de *stock*;
- Aumento da capacidade do sistema produtivo resultante da redução de tempos improdutivos;
- Redução de custos devido à redução do tempo de *setup* e dos tempos de paragens dos equipamentos, que permitem um aumento da sua disponibilidade.

Além disso, o aumento da disponibilidade dos equipamentos, uma das vantagens associada à redução dos tempos de mudança, poderá traduzir-se em mais tempo disponível para a produção ou para a realização de mudanças com mais frequência (Goubergen & Landeghem, 2002).

O *Quick Changeover* (QCO) é uma das técnicas utilizadas para reduzir os tempos associados às mudanças de produção, sendo o *Single Minute Exchange of Die* (SMED) uma ferramenta inerente à sua aplicação (Cakmakci, 2009). O SMED foi introduzido por Shigeo Shingo, em 1950, e tem como objetivo reduzir o tempo de preparação de máquinas para valores com apenas um dígito, isto é, procura realizar operações de *setup* em curtos períodos de tempo, de forma a que este seja inferior a 10 minutos (Shingo, 1985). Esta metodologia foi criada em resposta à necessidade de reduzir os tempos de *setup* na troca de moldes de prensas utilizadas para estampagem de peças de automóveis na Toyota. Através da utilização das técnicas criadas por Shingo, foi possível reduzir o tempo de troca de moldes que demorava cerca de duas a três horas para quinze minutos e, posteriormente, para três minutos (Ohno, 1988).

Shingo (1985) divide as operações de *setup* em dois tipos:

- **Operações internas** – Operações que apenas podem ser realizadas quando a máquina se encontra desligada ou parada, como por exemplo, remover ou fixar ferramentas à máquina.

- **Operações externas** – Operações que podem ser executadas com a máquina em funcionamento, podendo ser realizadas antes ou depois da paragem da máquina, tal como transportar as ferramentas para os seus devidos locais de arrumação.

O estudos realizados por Shingo foram descritos no seu livro “*A Revolution in Manufacturing – The SMED System*” (1985). Neste foram apresentadas as três etapas fundamentais que levaram ao desenvolvimento da metodologia SMED ao longo de dezanove anos, encontrando-se estas resumidas na Tabela 3.

Tabela 3 – Etapas fundamentais que levaram ao desenvolvimento da metodologia SMED

Etapa (Ano)	Descrição
Etapa 1 (1950)	Identificação e classificação das operações de <i>setup</i> em dois tipos: <i>setup</i> interno e <i>setup</i> externo.
Etapa 2 (1957)	Duplicação de equipamentos para que as operações de <i>setup</i> sejam realizadas externamente ao processo de fabrico.
Etapa 3 (1969)	Conversão de operações de <i>setup</i> internas em externas.

Tendo como base estas três etapas, Shingo (1985) definiu os quatro estágios da metodologia SMED, representados na Figura 5, assim como algumas técnicas e práticas inerentes a cada estágio. De seguida, descrevem-se cada uma das fases da metodologia SMED.

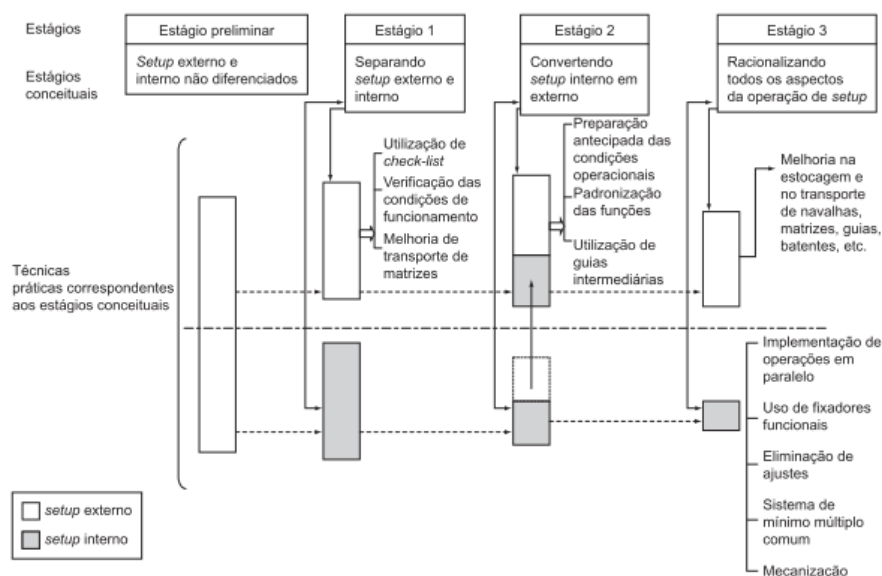


Figura 5 – Os estágios da metodologia SMED (Retirado de Sugai, McIntosh, & Novaski, 2007)

- **Estágio preliminar** – Operações de *setup* interno e externo não são distinguíveis

Na fase preliminar não existe distinção entre operações internas e externas. Algumas tarefas que podiam ser realizadas externamente são realizadas como operações de *setup* interno, estando os equipamentos

inativos por longos períodos. Nesta etapa é necessário medir o tempo necessário para a execução de cada operação. Portanto, torna-se necessário observar e entender em detalhe como é realizado o processo de *setup* inicial. Shingo (1985) recomenda a utilização de várias técnicas, tais como, entrevistas aos operadores para estudar as condições atuais e obter informações adicionais, cronometragem dos tempos ou recorrer a filmagens de todo o processo de *changeover*. Esta última técnica é considerada a mais eficaz, pois permite uma melhor análise de todo o processo quando a frequência de eventos de *changeover* é reduzida, sendo possível também encontrar soluções de melhoria através do envolvimento dos operadores, mostrando-lhes as gravações e dando-lhes a oportunidade de expor os seus pontos de vista (Shingo, 1985; Sugai et al., 2007).

- **Estágio 1 – Separação das operações de *setup* interno e externo**

Neste estágio é realizada a organização das operações de *setup*, através da sua classificação e separação em internas e externas. De acordo com Shingo (1985), esta etapa é a mais importante na implementação do SMED uma vez que, se for feito um esforço para realizar o máximo de operações de *setup* externas, o tempo necessário para a execução das operações internas pode ser reduzido entre 30% a 50%. A utilização de *checklists* é uma das técnicas utilizadas nesta etapa, as quais devem conter informação acerca dos elementos necessários para realizar as operações de *setup* (ferramentas, materiais, número de operadores ou outros meios de auxílio para a sua execução), dos parâmetros de operação que o equipamento vai necessitar (temperatura, pressão, etc.), bem como do conjunto de procedimentos que vão ser levados a cabo (Shingo, 1985; Sugai et al., 2007).

Além disso, Shingo (1985) refere que o transporte de materiais e ferramentas desde o seu local de arrumação até ao equipamento e vice-versa, deve ser realizado externamente, com o equipamento em funcionamento, por um operador ou, no caso de ser impossível, por uma outra pessoa externa ao processo.

- **Estágio 2 – Converter as operações de *setup* interno em externo**

A redução do tempo do *setup* interno resultante da fase anterior não é suficiente para atingir a meta de tempo proposta pela metodologia SMED. Portanto, este estágio requer que todas as atividades internas sejam analisadas novamente, verificando se alguma tarefa foi considerada interna erradamente e fazendo um esforço para as tentar realizar enquanto o equipamento se encontra em funcionamento, isto é, convertê-las em *setup* externo.

Esta conversão conduz a uma redução no tempo direta, em que o equipamento necessita de estar parado durante o *changeover*, podendo ser aplicadas algumas técnicas, como por exemplo: a preparação

antecipada de materiais, ferramentas e de outros elementos, antes de parar o equipamento para realizar a mudança; utilização de guias e fixadores intermédios de forma a eliminar a necessidade de ajustes de posição e a facilitar o processo de troca; normalização de operações de *setup*, isto é, analisar a função de cada peça do equipamento, de forma a que seja necessário substituir o menor número possível de elementos de um produto para outro (Shingo, 1985).

- **Estágio 3 – Otimizar todos os aspetos das operações de *setup***

A última fase visa melhorar sistematicamente todas as atividades envolvidas no processo de *changeover*, quer sejam internas ou externas, com o objetivo de simplificar e tornar o processo mais rápido. Shingo (1985) estabelece assim técnicas que permitem otimizar os dois tipos de atividades.

No sentido de otimizar as operações de *setup* externas as medidas passam por otimizar a arrumação e o transporte de ferramentas, através da colocação das mesmas de forma organizada e nos devidos locais de arrumação definidos, para que sejam rapidamente identificáveis pelos operadores. Apesar de a redução do tempo das operações de *setup* externas não influenciar diretamente o tempo improdutivo dos equipamentos, permitem reduzir a ocupação dos operadores e alocá-los à realização de outros tipos de tarefas (Shingo, 1985).

As técnicas que permitem melhorar as operações internas encontram-se relacionadas com: a execução de operações em paralelo, utilizando mais que um operador; recurso a mecanismos de fixação rápida de ferramentas; eliminação da necessidade de ajustes e afinações através da correta execução das operações de medição e ajuste; automatização de tarefas (esta técnica deve ser considerada em último recurso, após terem sido implementadas todas as técnicas referidas anteriormente) (Shingo, 1985).

A aplicação dos estágios 2 e 3 não necessita de ser realizada sequencialmente, podendo por vezes ser realizada de forma simultânea. A sua separação apenas serve para uma melhor compreensão da metodologia, possuindo cada uma das fases duas noções distintas: primeiro analisar e, posteriormente, implementar (Shingo, 1985).

Por último, os procedimentos *standard* de *changeover* devem ainda ser documentados, pois mais importante que atingir o sucesso é conseguir preservá-lo. Assim os *standards* desempenham um papel crucial no que se refere à estabilização dos processos, pois caso contrário, o processo irá recuar no tempo (Cakmakci & Karasu, 2007; Oliveira et al., 2017).

2.3.5.1 Aspectos não considerados no SMED

A implementação da metodologia SMED permite aplicar um conjunto de melhorias com o objetivo de obter a redução dos tempos de *setup*. Porém, existem alguns aspectos não considerados nesta metodologia, bem como melhorias que se podem obter para além da sua aplicação, sendo algumas delas descritas de seguida.

- **Minimização dos tempos totais de *setup* através da definição da sequência de produção**

Na maioria das situações, os tempos de *setup* são considerados irrelevantes, não sendo considerados no planeamento da produção. Contudo, uma vez definido qual o tempo total para a realização do *setup*, torna-se necessário considerar as combinações possíveis de realizar a mudança da produção de um produto para outro (Sugai et al., 2007). Assim, este fator deve fazer parte do planeamento da produção, devendo ser determinada qual a sequência de produção de lotes de referências mais apropriada, com o intuito de evitar as combinações mais críticas e minimizar o tempo total despendido na realização de todas as operações de *setup* entre as referências (Missbauer, 1997).

Uma das formas de representar as perdas de *changeover* é através de uma “Matriz de *changeover*”, a qual indica o tempo associado à realização das tarefas de *setup* para cada combinação de produtos. Na Figura 6 é apresentado o exemplo de uma matriz, na qual para os produtos de A a J, contém o tempo (em minutos) necessário para mudar de um produto para outro. É possível observar que, por exemplo, para mudar do produto A para o B são necessários cerca de quinze minutos. (Harris & Harris, 2008).

		PARA										
DE	Part	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
	A	-	15	8	15	15	15	15	15	15	15	
	B	15	-	15	5	15	15	15	15	15	15	
	C	15	10	-	15	15	15	15	15	15	15	
	D	15	12	12	-	15	15	12	12	12	12	
	E	10	12	12	15	-	10	15	15	15	15	
	F	10	12	12	15	10	-	15	15	15	15	
	G	15	12	12	15	15	15	-	10	10	10	
	H	15	12	12	15	15	15	10	-	10	10	
	I	15	12	12	15	15	15	10	10	-	10	
J	15	12	12	15	15	15	10	10	10	-		
		MINUTOS										

Figura 6 – Exemplo de uma matriz de *changeover* (Retirado de Harris & Harris, 2008)

Tendo como base os tempos presentes na matriz de *changeover*, e havendo a necessidade de produzir apenas os produtos ABCDEH, as células que se encontram a sombreado indicam qual a melhor sequência de *changeover* a realizar. Assim, estas indicam que iniciando-se pela produção do produto A, o produto seguinte deverá ser o produto C, pois é a combinação com menor tempo de *setup*, seguido do produto B, e assim sucessivamente. Pode-se concluir, portanto, que a melhor sequência de produção

a realizar com o objetivo de minimizar o tempo total gasto nas atividades de *setup* será a ACBDHE (Harris & Harris, 2008).

- **Perdas durante os períodos de desaceleração e aceleração da produção**

McIntosh, Culley, Mileham e Owen (2001) reconhecem que desde que termina a produção da referência de saída até à produção plena da referência de entrada, existem três momentos distintos:

1. **Fase de desaceleração (*Run-down period*)** – Segundo McIntosh et al. (2001), por vezes o processo produtivo pode experienciar um período de desaceleração durante a produção da referência de saída até que chega o momento de paragem. Contudo, em alguns casos, esta perda de produção pode ser muitas das vezes impercetível.
2. **Período de *setup*** – Corresponde ao intervalo em que não ocorre produção, estando a linha ou o equipamento parado. Este período engloba o momento desde que ocorre a produção da última peça do lote antigo até à produção da primeira peça do novo lote. A produção da primeira peça nova não implica que esta seja a primeira com o nível de qualidade requerido, nem que o processo tenha alcançado a taxa de produção desejada.
3. **Fase de aceleração (*Run-up period*)** – Esta fase inicia quando começa a produção da nova referência de entrada, terminando quando a produção atinge as taxas de produção e qualidade esperadas, havendo estabilização do processo. Durante esta fase são executadas essencialmente tarefas de ajuste e afinação nos equipamentos, tendo como consequência a existência de perdas de produção.

A Figura 7 demonstra os três momentos referidos, representando a quebra que pode existir no processo deste o momento em que termina a produção do produto antigo, até ao momento em que ocorre a estabilização na produção do novo produto.

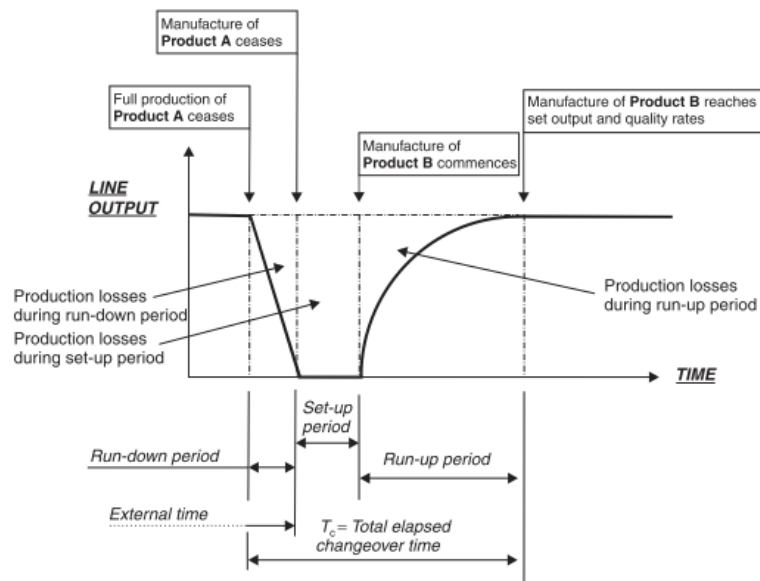


Figura 7 – Perdas de produção durante a realização das operações de *setup* (Retirado de McIntosh et al., 2001)

As perdas de capacidade resultantes durante os períodos de desaceleração e aceleração são assim um dos aspetos não aprofundados no SMED, encontrando-se o foco da metodologia de Shingo apenas na redução das perdas associadas ao período de *setup* em si (McIntosh et al., 1996). No entanto, de acordo com McIntosh et al. (2001), a fase de aceleração pode durar até dez vezes mais que o período de *setup*, podendo ser uma das fases que mais contribui para as perdas de produção. Assim, é necessário também minimizar as perdas que ocorrem durante os períodos de desaceleração e aceleração, sendo este fenómeno muito próprio em alguns tipos de linhas de produção, pelo que Sugai et al. (2007) afirma que este deve ser também objeto de estudo, demonstrando a aplicação da metodologia SMED não ser suficiente (McIntosh et al., 1996).

- **Situações de linhas com equipamentos e vários operadores**

Uma outra lacuna da metodologia SMED, é o facto de esta apenas ser aplicável a casos onde apenas estão envolvidos um operador e uma única máquina. Neste caso, a aplicação de técnicas de redução de tempos de *setup*, é simples, pois estas refletem-se na redução do tempo de inatividade da máquina (Ferradás & Salonitis, 2013; Goubergen & Landeghem, 2002). Contudo, existe também a necessidade de redução dos tempos de *setup* em situações onde as células de produção são constituídas por múltiplas máquinas controladas por vários operadores (Ferradás & Salonitis, 2013). Nestes casos, as tarefas de *changeover* necessitam de ser balanceadas entre os operadores, mas torna-se complicado realizar a alocação de tarefas de forma balanceada devido à interação entre os equipamentos e entre estes e os operadores que realizam o *changeover* (Goubergen & Landeghem, 2002). Segundo Ferradás e Salonitis (2013), a metodologia de Shingo nada diz acerca da forma como o balanceamento das tarefas

de *changeover* deve ser realizado. Para além disso, esta também não é específica quanto ao modo como deve ser medido o tempo de *setup* numa célula de produção.

2.3.5.2 Exemplos de aplicação

Cakmakci (2009) revela que o SMED tem sido utilizado como um elemento do TPM e da melhoria contínua do processo, como forma de atingir a produção *Lean*. Assim, investigadores e profissionais em diversas indústrias têm estudado e aplicado esta metodologia, sendo possível encontrar vários estudos na literatura.

Ferradás e Salonitis (2013) apresentam um caso de aplicação da metodologia SMED numa empresa do ramo automóvel numa linha de soldadura. O resultado obtido foi uma redução no tempo total de *setup* de 33%, passando de um valor inicial de 15,09 minutos para cerca de 10 minutos. De acordo com estes autores, as melhorias implementadas que levaram a este resultado permitiram obter uma poupança de 13.206 euros anuais.

Sugai, McIntosh e Novaski (2007) realizaram um estudo de caso numa linha de produção de uma empresa metalomecânica, através do qual pretendiam analisar criticamente o SMED e revelar algumas das suas lacunas, nomeadamente, o facto de não considerar as perdas durante os períodos de desaceleração e de aceleração. Durante o estudo foram registados os tempos de saída das peças da linha durante cerca de três horas, período durante o qual terminou a produção de peças do tipo A, realizaram-se atividades de *setup* e iniciou-se a produção de peças do tipo B. A empresa acreditava que o tempo de linha inativa e a perda real de produção, quando era realizado o *Setup*, era de 15 minutos. Contudo, com o estudo realizado foi demonstrado que a perda total nos períodos de desaceleração, tempo de *setup* e aceleração era de cerca de 65 minutos.

2.3.5.3 Técnicas de suporte na implementação do SMED

Até ao momento, foram várias as empresas que aplicaram a metodologia SMED, obtendo resultados com sucesso. Contudo, a implementação de novos métodos requer sustentabilidade para manter o nível de sucesso desejado e não deixar o processo recuar. Para tal, a normalização dos processos desempenha um papel crucial, sendo necessário a criação de procedimentos *standard* bem estruturados (Cakmakci & Karasu, 2007; Oliveira et al., 2017).

Cakmakci e Karasu (2007) classificam no âmbito da redução dos tempos de *setup* dois tipos de análise:

- Análise a nível macro, realizada através da aplicação das fases do SMED, com o intuito de reduzir o número de tarefas a serem realizadas internamente e definir a melhor sequência das operações internas e externas;

- Análise a nível micro para melhorar as atividades de *setup* internas que resultam da aplicação do SMED, através de uma análise detalhada dos movimentos do corpo, com o objetivo de eliminar movimentos humanos desnecessários e estabelecer o melhor método de trabalho para obter a máxima eficiência.

Na realização da micro análise das atividades internas de *setup*, Cakmakci e Karasu (2007) propõem a utilização do sistema de tempos pré-determinados designado de *Methods-Time Measurement* (MTM) como auxílio na implementação da metodologia SMED. O *Methods-Time Measurement* é um método de análise detalhada de tempos de movimentos com base em tempos pré-determinados tabelados, que permite definir o tempo padrão associado à realização de uma determinada operação. Para tal, é necessário decompor os movimentos de uma operação em detalhe, sendo atribuídos tempos tabelados a cada movimento básico de modo a obter o tempo total previsto para a realização da operação em estudo, somando os tempos de cada elemento (Cakmakci & Karasu, 2007; Melo, Andrade, & Brito, 2016).

De acordo com Cakmakci e Karasu (2007), a utilização de sistemas de tempos pré-determinados permite a obtenção das seguintes vantagens:

- Permite a padronização de um conjunto de atividades após uma análise detalhada das mesmas e da identificação de movimentos desnecessários e que não acrescentam valor às tarefas;
- Facilita a obtenção do tempo padrão de uma operação, pois uma vez que o tempo de cada elemento do sistema é determinado antecipadamente através de tempos tabelados, não requer a análise do ritmo dos operadores, reduzindo também a subjetividade do método;
- Possibilita a previsão dos tempos-padrão de operações que ainda se encontram na fase de planeamento.

Assim, o MTM tornou-se numa ferramenta relevante, dado que para além de representar claramente o processo atual, possibilita simular possíveis melhorias de processo, de forma a representar os reflexos das mudanças no sistema de produção, sendo também considerada uma ferramenta de auxílio no processo de melhoria contínua (Melo et al., 2016). Segundo Cakmakci e Karasu (2007), a integração do MTM e do SMED permite uma análise detalhada do estudo dos movimentos e a normalização das operações internas de *changeover*, de modo a que estas sejam realizadas de forma eficaz e eficiente e minimizando a indisponibilidade dos equipamentos.

2.4 Simulação como suporte à filosofia *Lean*

Apesar dos benefícios existentes da aplicação da filosofia *Lean*, a sua implementação possui algumas fraquezas, como por exemplo, o facto de enfatizar o método “tentativa e erro” e a “experimentação”, limitando a oportunidade de encontrar possíveis interações entre os componentes do sistema. Assim, de acordo com Uriarte, Moris, Ng, & Oscarsson (2015), a simulação tem sido considerada por vários autores como uma ferramenta de auxílio para colmatar algumas das lacunas existentes.

Segundo Shannon (1998), a simulação é um processo de construção de um modelo representativo de um sistema real que permite a realização de experiências com esse modelo, com o intuito de conhecer melhor o seu comportamento e extrair conclusões que possam ser aplicadas no sistema real. Desta forma, através da simulação é possível avaliar e simular diferentes cenários sob determinadas condições, possibilitando rapidamente a capacidade de prever o impacto que determinadas decisões terão num sistema. Os modelos de simulação são, portanto, considerados modelos de “entrada-saída”, pois através de um conjunto de dados de entrada produzem um resultado.

Por outro lado, quando os sistemas e processos possuem uma certa complexidade, devido ao número de interações e pessoas envolvidas e ao seu tamanho, a simulação é também uma das ferramentas de apoio à decisão que permite identificar onde e como melhorar o sistema (Uriarte et al., 2015). Portanto, a utilização da simulação tem inúmeras vantagens (Shannon, 1998; Uriarte et al., 2015):

- Proporciona uma melhor compreensão do sistema real;
- Possibilita a simulação de diferentes cenários em poucos minutos, o que poderia demorar meses no sistema real;
- É possível analisar quais as variáveis mais significativas para o desempenho do sistema;
- Não interfere no funcionamento do sistema real, não comprometendo também a necessidade de recursos para a implementação de melhorias;
- Permite simular diferentes cenários e analisar quais as mudanças que terão maior impacto na sua implementação.

No entanto, apesar de todas as vantagens inerentes à utilização da simulação, é importante ressaltar algumas restrições ou dificuldades existentes na implantação de um modelo de simulação, por exemplo (Shannon, 1998):

- A simulação não fornece uma solução ótima, permitindo apenas analisar o comportamento do sistema sob determinadas condições;
- A elaboração dos modelos de simulação pode ser difícil e bastante demorada;
- Os resultados da simulação são algumas vezes difíceis de interpretar, sendo difícil também proceder à validação do modelo.

Concluindo, a integração da simulação com a filosofia *Lean* permite quantificar, de forma rápida, os benefícios que podem ser alcançados com a implementação de melhorias nos sistemas de produção e ajudar na tomada de decisões cruciais, através da comparação da situação inicial com a sua futura performance. Assim, Uriarte et al. (2015) defendem que apesar da filosofia *Lean* em si contribuir para a obtenção de grandes melhorias nas empresas, quando suportada pela simulação pode melhorar o seu desempenho de uma forma mais eficiente.

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo apresenta-se uma descrição da história do Grupo Bosch e da sua presença a nível mundial, e ainda as diferentes áreas de negócio, assim como a sua visão. Posteriormente, apresenta-se um enquadramento acerca da Bosch Car Multimédia Portugal, em Braga, local onde foi desenvolvido este projeto de dissertação. Realiza-se uma breve descrição da estrutura organizacional, bem como da área onde o trabalho foi desenvolvido. Por último apresenta-se o modelo de gestão, através do qual todas as empresas do grupo se regem, o *Bosch Production System* (BPS).

3.1 Grupo Bosch

Robert Bosch (1861-1942), com apenas 25 anos, fundou em 1886 a sua primeira oficina de mecânica de precisão eletrónica em Estugarda, na Alemanha, tendo ficado desde sempre o seu nome associado à indústria automóvel. Através da invenção do primeiro magneto de baixa voltagem, aplicado ao sistema de ignição de automóveis, foi criado o símbolo que perdura até aos dias de hoje no logótipo da Bosch e que é reconhecido mundialmente como a imagem da empresa (Bosch, 2015).

A Bosch é considerada líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços, oferecendo produtos e serviços para uso profissional e privado. Para além disso, o grupo é reconhecido pelo seu compromisso social tendo, em 1964, sido criada a Fundação Robert Bosch com o objetivo de desenvolver áreas de formação, arte, cultura e ciências. Assim, esta Fundação retém cerca de 92% do capital da Robert Bosch GmbH e utiliza os dividendos das empresas para fins de beneficência social (Bosch, 2015).

3.1.1 Bosch no mundo

Atualmente, a Bosch encontra-se representada através de 450 subsidiárias e empresas regionais em mais de 60 países, possuindo parceiros de vendas e serviços em aproximadamente 150 países por todo o mundo. No ano de 2018, a empresa empregou cerca de 410.000 colaboradores em todo o mundo, tendo, de acordo com os resultados preliminares, gerado uma faturação de 77,9 mil milhões de euros em vendas (Bosch, 2019b).

Em Portugal, o Grupo Bosch teve a sua primeira representação no ano 1911 e atualmente é considerado um dos maiores empregadores industriais a nível nacional, sendo capaz de desenvolver e fabricar uma larga variedade de produtos, onde a maior parte é exportada para mercados internacionais. Sempre de olhos postos no futuro e focados na inovação tecnológica, atualmente o grupo encontra-se presente em

várias localizações, sendo cada uma delas responsável pelos seguintes produtos e serviços (Bosch, 2015):

- Robert Bosch S.A., em Lisboa – Comercialização e assistência técnica de diferentes tipos de produtos Bosch de alta qualidade, nomeadamente acessórios auto, ferramentas elétricas, sistemas de segurança e termotecnologia.
- Bosch Termotecnologia S.A., em Aveiro – Líder do mercado europeu de esquentadores e terceiro produtor mundial de esquentadores. Possui um Centro de Competência da Robert Bosch para soluções de água quente, sendo também responsável pela conceção e desenvolvimento de novos aparelhos bem como a sua produção e comercialização.
- Bosch Car Multimédia Portugal, em Braga – Produção e desenvolvimento de sistemas de informação e entretenimento, sistemas de instrumentação e sensores de segurança para a indústria automóvel.
- Bosch Security Systems, em Ovar – Produção de soluções inovadoras de sistemas de segurança e comunicação, detetores de incêndio e intrusão, e displays eletrónicos para equipamentos de termotecnologia.

Com cerca de 5500 colaboradores, o grupo Bosch é considerado um dos maiores empregadores industriais em Portugal tendo, no ano de 2018, aumentado as vendas em 13% para 1,7 mil milhões de euros (Bosch, 2019b).

3.1.2 Visão do Grupo

Seguindo o espírito do fundador Robert Bosch, o grupo pretende garantir o futuro da empresa ao assegurar o seu desenvolvimento forte e significativo e ao preservar a sua independência financeira. Assim, o grupo Bosch oferece mundialmente “Tecnologia para a Vida”, sendo esta a motivação que o conduz pois procura melhorar a qualidade de vida das pessoas em todo o mundo com produtos e serviços inovadores e fascinantes e que ajudem a conservar os recursos naturais. Para tal, têm como foco o cliente, tentando sempre perceber quais são os seus requisitos, adaptando os produtos e criando modelos de negócio inovadores, procurando a excelência no seu trabalho (Bosch, 2015).

Os valores da empresa são baseados na orientação para o futuro e resultados, na responsabilidade e sustentabilidade, na iniciativa e determinação, na transparência e confiança, na equidade, na fiabilidade, credibilidade e legalidade e na diversidade. Assim, “*We are Bosch*” é o mote que reflete todos estes

valores e a maneira como o grupo gere os seus negócios: a ética profissional existente ao lidar com os seus parceiros de negócios, investidores, colaboradores e com a sociedade (Bosch, 2015, 2019b).

3.1.3 Áreas de negócio

O Grupo Bosch encontra-se dividido em quatro áreas de negócio: Soluções de Mobilidade, Tecnologia Industrial, Energia e Tecnologia de Construção e Bens de Consumo. Em todas as áreas, a Bosch ocupa um lugar central como um dos maiores fornecedores a nível mundial, sendo a tecnologia automóvel a área que mais se destaca. Na Figura 8, encontram-se representadas as diversas divisões do Grupo divididas por área de negócio (Bosch, 2015).



Figura 8 – Divisões Grupo Bosch por área de negócio (Bosch, 2015)

3.2 Bosch Car Multimédia Portugal, S.A.

Este projeto de dissertação foi desenvolvido na Bosch Car Multimédia Portugal, S.A., localizada em Braga, Portugal. Inserida na área de negócio de Soluções de Mobilidade, nomeadamente na divisão de Car Multimedia (CM), esta empresa do Grupo Bosch gera a maior percentagem de vendas, sendo este um dos maiores fornecedores de tecnologia automóvel do mundo. A sua presença em Braga teve início em abril de 1990, sendo atualmente um dos maiores empregadores privados da região e um dos principais exportadores nacionais.

A unidade da Bosch em Braga integra ainda um Centro de Desenvolvimento e de Competência Técnica reconhecido pelo seu *know-how*, permitindo construir uma reputação sólida no mercado eletrónico devido à sua capacidade de fabricar produtos cada vez mais complexos com elevada qualidade e flexibilidade. Deste modo, o investimento em atividades de Investigação e Desenvolvimento (I&D) nos últimos anos, através do reforço da equipa de engenheiros dedicada à inovação, tem permitido apoiar e impulsionar a

empresa nas mudanças no portefólio de produtos, bem como preparar o lançamento de novos (Bosch, 2015).

3.2.1 Produtos

A Bosch Car Multimédia dedica-se essencialmente à produção e desenvolvimento de sistemas de informação e entretenimento e sistemas de instrumentação para a indústria automóvel, desde a construção do protótipo até à sua produção em série. Assim, a divisão CM foca-se no desenvolvimento de soluções inteligentes com o intuito de otimizar o futuro da mobilidade, tendo a máxima Conveniência na Condução como visão. Assim, têm como objetivo tornar a condução mais fácil, económica, segura e conveniente.

Tendo em conta a evolução das tendências, tanto na área automóvel como na área multimédia, o portefólio de produtos da unidade da Bosch em Braga é operado num mercado complexo e em constante mudança. Consequentemente, a oferta de produtos completamente novos e com tecnologia de ponta estão gradualmente a substituir o negócio dos autorrádios. Na Figura 9 é possível visualizar o portefólio de produtos que a unidade da Bosch em Braga oferece por área de atuação (Bosch, 2015).



Figura 9 – Portefólio de produtos (Bosch, 2015)

3.2.2 Estrutura organizacional

A Bosch Car Multimédia Portugal S.A. encontra-se organizada em duas áreas funcionais: área comercial e área técnica, tal como se encontra representado na Figura 10.

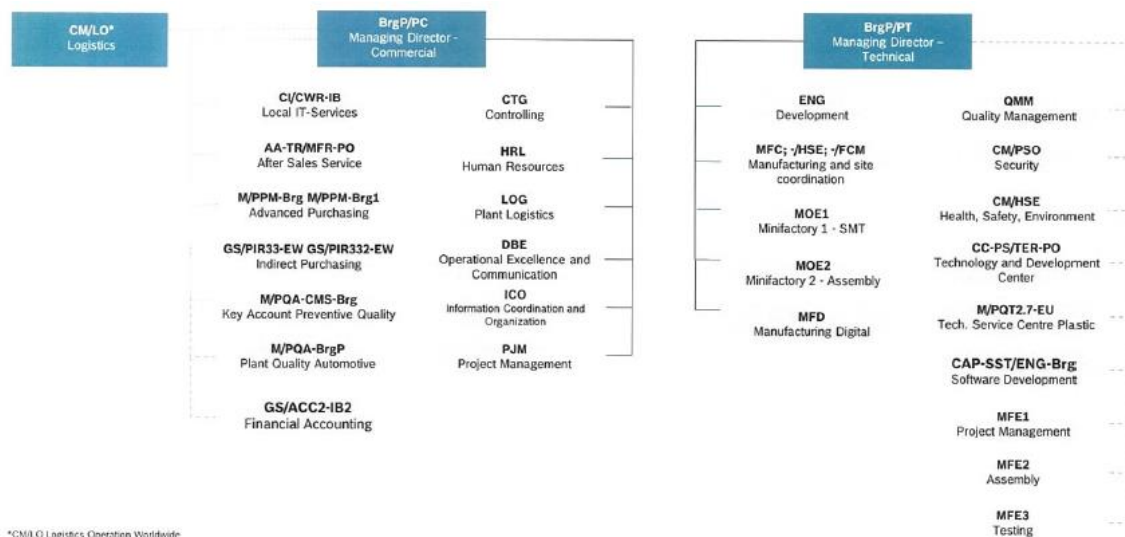


Figura 10 – Organograma Bosch Car Multimédia S.A. (Bosch, 2019a)

Cada área é constituída por vários departamentos, sendo cada um composto por várias secções com diferentes funções e responsabilidades. O departamento de *Manufacturing Engineering2* (MFE2), insere-se numa das áreas técnicas, estando subdividido em várias secções (Figura 11).

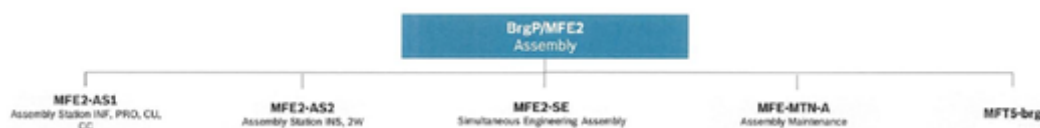


Figura 11 – Organograma do Departamento MFE2 (Bosch, 2019a)

Este projeto de dissertação foi desenvolvido no departamento MFE2, nomeadamente na secção MFE-MTN-A (*Assembly Maintenance*). Esta é responsável pela manutenção dos equipamentos da produção, na qual as suas principais atividades são: reduzir avarias dos equipamentos e defeitos; reconhecer as principais causas de falha dos equipamentos e criar ações para a eliminação das mesmas; análise e resolução de problemas sistemáticos; garantir o arranque dos equipamentos; desenvolver, definir e implementar atividades de manutenção e respetivos standards de manutenção preventiva; otimização dos processos (Bosch, 2019a).

A secção rege-se pelo modelo TPM considerado no sistema de produção da Bosch (ver secção 3.2.3 - Modelo TPM da Bosch) e as atividades aqui realizadas têm como principais objetivos a redução dos tempos de paragem de produção e, consequentemente, o aumento da eficiência das linhas, de forma a manter os níveis de qualidade e a promover os zero acidentes. Além disso, pretende otimizar as tarefas de manutenção dos equipamentos, diminuir as ações corretivas e aumentar as ações preventivas, bem como garantir uma boa gestão de recursos económicos, energéticos e de material (Bosch, 2019a).

3.2.3 Modelo TPM da Bosch

O modelo TPM da Bosch é baseado no modelo TPM original de Nakajima citado na secção 2.3.4 – *Total Productive Maintenance* (TPM). Este é considerado um componente central do sistema de produção da Bosch (BPS - *Bosch Production System*). O modelo considerado pelo BPS (Figura 12) agrupa os oito pilares fundamentais de Nakajima em apenas quatro, sendo todos apoiados pela melhoria contínua e trabalho em equipa, formação e acompanhamento, limpeza, ordem e disciplina.

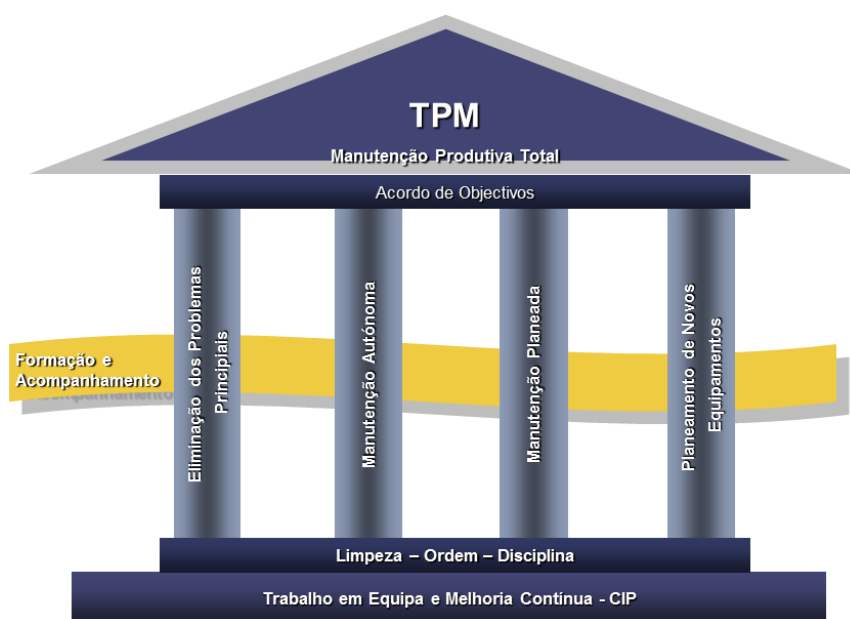


Figura 12 - Modelo TPM do sistema de produção Bosch (Bosch, 2019a)

Os quatro pilares considerados no modelo TPM da Bosch (a manutenção autónoma, a manutenção planeada, a gestão de novos equipamentos, e a eliminação dos principais problemas) descrevem-se de seguida (Bosch, 2019a):

1. Eliminação dos Principais Problemas

O primeiro pilar foca-se na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua, estando os colaboradores numa posição que os permite analisar sistematicamente as paragens que vão ocorrendo, identificar as suas causas e eliminá-las permanentemente.

2. Manutenção Autónoma

No pilar da Manutenção Autónoma, todas as atividades de rotina de manutenção são realizadas autonomamente em equipas, depois de obterem as devidas formações. Devido à sensibilidade dos operadores e do sistema TPM, as manutenções e reparações são realizadas de forma adequadas, durante as quais os defeitos das máquinas e dos equipamentos são reconhecidos de imediato, e corrigidos com segurança e rapidez.

3. Manutenção Planeada

O terceiro pilar visa a implementação de uma manutenção eficaz nos sistemas e equipamentos através de medidas contínuas de manutenção, de modo a reduzir as paragens não planeadas e a aumentar substancialmente o ciclo de vida dos equipamentos. Estas tarefas requerem um determinado conhecimento de manutenção, sendo necessário o envolvimento de vários departamentos, sob a coordenação do departamento da manutenção.

4. Planeamento de Novos Equipamentos

O último pilar do TPM refere que na fase de aquisição e planeamento dos equipamentos já devem ser considerados alguns aspetos, tais como, facilidade da manutenção, acessibilidade e utilização das instalações e equipamentos. Assim, o *know-how* dos colaboradores acerca da produção e manutenção são essenciais na fase de planeamento e definição de requisitos de novos equipamentos.

No centro de todas as atividades encontram-se os colaboradores. Estes através do seu conhecimento e motivação, permitem melhorar continuamente a disponibilidade dos equipamentos e a sua produtividade. Assim, através da implementação do TPM é possível a obtenção de várias vantagens, nomeadamente, aumentar a produtividade total, diminuir as perdas do sistema, melhorar a qualidade dos processos e produtos, aumentar o ciclo de vida dos equipamentos, realizando-se manutenções planeadas em vez de manutenções de emergência, assim como aumentar a qualificação e motivação dos colaboradores.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

Neste capítulo procede-se a uma breve apresentação da linha de montagem em estudo, sendo apresentada uma breve descrição do processo produtivo, assim como das práticas realizadas relativamente ao processo de *changeover*. Posteriormente, elabora-se a análise da situação inicial do processo de *changeover*, sendo identificados os principais problemas que podem vir a ser objeto de melhoria e que podem vir a permitir otimizar os tempos de *changeover*, assim como melhorar todo o processo de mudança.

4.1 Descrição do processo produtivo

Este projeto de dissertação ocorreu numa linha de montagem final de painéis de instrumentação, na qual são produzidos 2 produtos diferentes para duas marcas distintas, designados por A e B. Na Figura 13 encontra-se representado um fluxograma relativamente ao processo produtivo da linha em questão para ambos os produtos, no qual é possível observar as precedências entre os postos para a construção de uma unidade. Como é possível observar, o processo envolve um total de 20 postos de trabalho diferentes, designados neste projeto de “PT0” a “PT19”, dos quais os postos PT1, PT2, PT14, PT15 e PT16 possuem mais do que um equipamento, tendo a capacidade de processar várias unidades em paralelo.

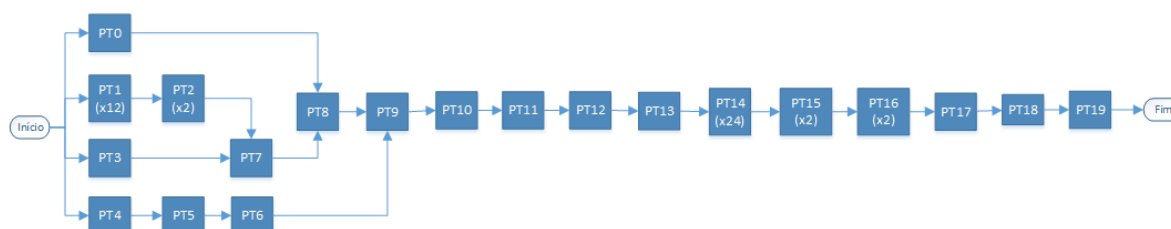


Figura 13 – Fluxograma do processo produtivo dos produtos A e B (Bosch, 2019a)

A linha é constituída por 7 operadores, liderados por um chefe de linha, e por um operador extra. Este último, designado por versátil de linha, tem como função dar suporte à linha caso surja alguma necessidade ou esteja algum operador em falta.

O modo operatório, isto é, a forma de afetação das atividades a serem executadas pelos operadores, é o *working balance*, o qual consiste na distribuição da carga manual de trabalho de forma equilibrada pelos operadores da linha, de forma a que todos tenham de realizar um determinado número de tarefas aproximadamente com o mesmo tempo de processamento. Uma vez efetuado o balanceamento das atividades a serem executadas pelos operadores, estas encontram-se documentadas nas respetivas

instruções de trabalho *standard* para cada operador da linha, as quais são elaboradas pelo departamento da Engenharia Industrial. Uma vez que o operador versátil realiza diversas tarefas, este não se encontra alocado a nenhum posto de trabalho, não sendo contemplado no balanceamento das atividades. A Tabela 4 apresenta os tempos de ciclo de cada operador, para cada um dos produtos que são fabricados na linha.

Tabela 4 - Tempos de ciclo de cada operador para os produtos A e B (Bosch, 2019a)

Operador	TC dos produtos A e B [seg]
1	88,3
2	82,1
3	77,1
4	82,9
5	82,2
6	77,0
7	45,6

Como se pode observar, todos os operadores possuem o mesmo tempo de ciclo para cada um dos produtos. O operador 1 é o que possui o maior valor de tempo de ciclo, sendo considerado o *bottleneck* da linha, com um tempo de ciclo de 88,3 segundos. A Figura 14 representa o *layout* da linha em questão, assim como o ciclo que cada operador realiza para executar as tarefas que lhe estão atribuídas de acordo com o trabalho *standard* de produção. Cada operador possui assim uma zona de atuação, na qual estão presentes os postos pelos quais é responsável por realizar as operações que lhe estão atribuídas no seu *standard*.

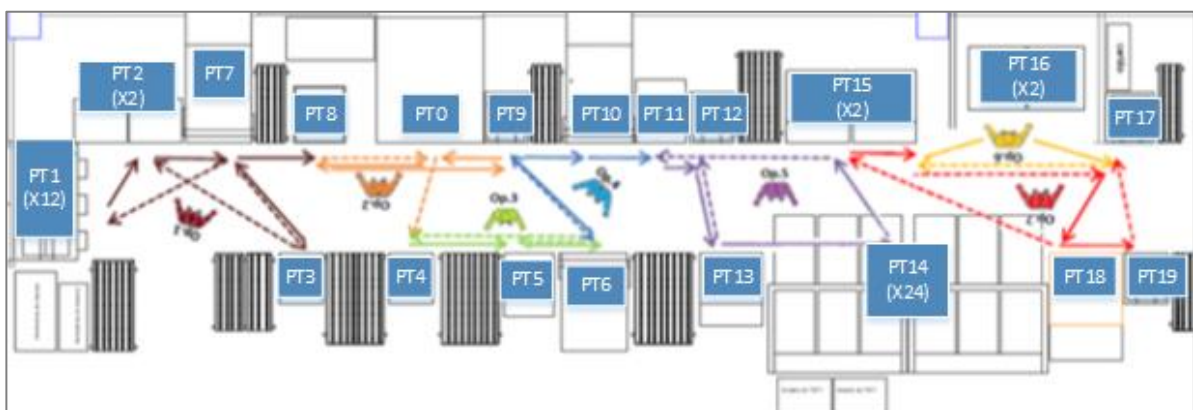


Figura 14 - *Layout* da linha e representação do ciclo de cada operador (Bosch, 2019a)

4.2 Descrição do processo de *changeover*

Quando a linha necessita de iniciar a produção de um novo tipo de produto, torna-se necessário realizar um conjunto de atividades de mudanças para que esta seja capaz de o fabricar. No entanto, existe a necessidade de otimizar todo o processo para que as trocas de ferramentas sejam realizadas de forma rápida, de modo a causar o menor impacto possível na disponibilidade da linha e reduzir ao máximo o tempo de perda associado ao *changeover*.

4.2.1 Práticas existentes do processo de *changeover*

Relativamente ao processo de *changeover*, existem alguns procedimentos *standard* existentes em todas as linhas, entre os quais assegurar a existência de identificações de forma a manter o espaço de trabalho organizado e para uma fácil e rápida visualização das ferramentas, através da técnica 5S's. Assim, os postos que necessitam de realizar atividades de mudança encontram-se assinalados com uma etiqueta, a qual contém um código numérico para cada produto e a sua designação, tal como se encontra representado na Figura 15.

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO MODELO	APLICAR AO POSTO
1	NOME FAMÍLIA 1	✓
2	NOME FAMÍLIA 2	
3	NOME FAMÍLIA 3	✓

Código: Data: dd/mm/aaaa

Figura 15 – Identificação *standard* em cada posto da linha com *changeover* (Bosch, 2019a)

Além disso, todas as ferramentas de cada posto encontram-se igualmente identificadas com uma etiqueta contendo o código do produto correspondente e o posto a que pertencem. Uma vez que, por vezes, existe a necessidade de armazenar algumas das ferramentas em armários, cada uma possui o seu lugar definido, encontrando-se este devidamente identificado com o posto e o código do produto a que pertence, permitindo assim uma visualização imediata do local onde se encontram as ferramentas (Figura 16).

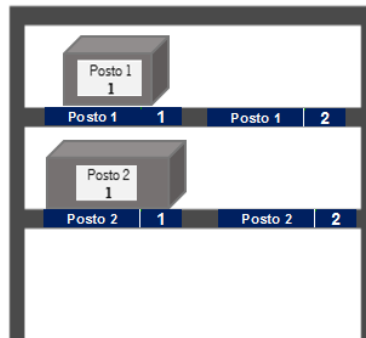


Figura 16 – Identificações *standard* nos locais de arrumação e das ferramentas (Bosch, 2019a)

O documento designado por SPL – *Single Point Lesson* é também uma das práticas *standard* existentes na Bosch, no qual consta uma explicação com imagens exemplificativas de todos os passos necessários para realizar mudanças entre determinados produtos, em cada um dos postos da linha de produção (Ver Anexo I).

Além disso, existe um sistema que regista os tempos de *changeover* com base na leitura do código de cada unidade que passa no último posto da linha de produção. Este sistema deteta quando existe mudança na produção, calculando a diferença entre o instante em que passou a primeira unidade boa do lote novo e o instante de saída da última peça do lote antigo, sendo retirado também o tempo de ciclo do novo lote que vai iniciar a produção (TCB), de modo a obter apenas o tempo de *changeover* da linha, tal como se encontra representado na Figura 17.

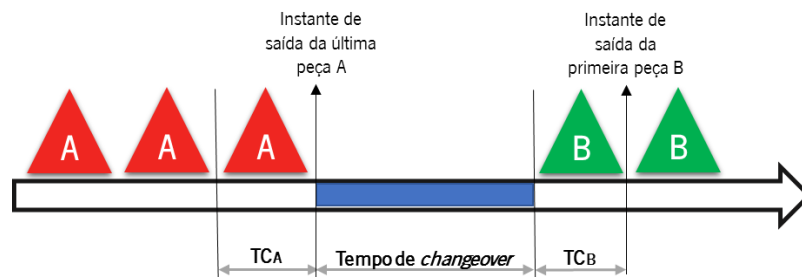


Figura 17 – Representação da forma de cálculo do tempo de *changeover* nas linhas de produção

4.2.2 Tipos de mudanças necessárias na troca entre produtos

Sempre que é necessário trocar a produção para outro produto existem diversas atividades que têm de ser realizadas em cada posto. Em todas as linhas existe um agente externo ao processo responsável pelo abastecimento dos materiais nas várias rampas existentes ao longo da linha, ao lado de alguns dos postos. Dependendo do tipo de posto, uma das atividades que poderá ter de ser realizada no momento do *setup* consiste na troca das caixas de material que já não são necessárias, pelas caixas com o material correspondente ao produto que vai entrar em produção. Assim, os operadores da linha têm de arrumar

os materiais do produto anterior nas respetivas caixas, devolvê-las para a parte inferior das rampas de abastecimento localizadas entre os postos, abrir as caixas com o novo material que se encontram na parte superior da rampa e prepará-lo devidamente, caso necessário, para os suportes de material existentes em cada posto.

Além das mudanças de material, também poderá ser necessário proceder à troca dos *jigs*, um tipo de ferramenta personalizada para cada tipo de produto, utilizados para controlar a localização e o movimento de peças ou unidades enquanto são processadas em cada posto. Normalmente, este tipo de troca envolve remover o dispositivo do posto e colocar um outro adequado ao novo tipo de produto que vai ser fabricado. Ao longo dos capítulos, a designação de “bases” poderá ser utilizada para fazer referência aos *jigs* existentes em cada posto. Adicionalmente, o operador poderá ter de proceder à mudança dos programas através de um monitor, dependendo do posto em questão.

Todos estes tipos de mudanças ocorrem gradualmente ao longo da linha de acordo com a sequência do processo produtivo, isto é, um posto só inicia a mudança após ter concluído a produção de todas as unidades do lote anterior que passaram pelos postos precedentes. Durante este projeto as seguintes nomenclaturas “MAT”, “HW” e “SW” serão utilizadas para retratar em cada posto as mudanças de material, ferramenta (*hardware*) e programa (*software*), respetivamente. Para além disso, será utilizada a designação de “Produto A” para o produto que deixará de ser produzido na linha, sendo o “Produto B”, o novo produto que irá entrar em produção.

4.3 Análise crítica do processo de *changeover* e identificação de problemas

De forma a realizar uma análise do processo de *changeover*, foi iniciada a implementação da metodologia SMED através do estágio preliminar e do segundo estágio. Após observação de vários eventos de *changeover* na linha, e do estudo da situação inicial, procedeu-se ao levantamento dos principais problemas existentes e que poderiam ser alvo de melhoria.

4.3.1 Estágio preliminar SMED

Tal como mencionado na secção 2.3.5 – *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), na fase preliminar do SMED é fundamental observar todas as mudanças que ocorrem na linha de produção, de modo a entender como é realizado todo o processo de *changeover*. Para realizar um estudo sobre a situação atual foram realizados os seguintes passos:

1. Observação inicial com o intuito de identificar os postos que exigem operações de mudança, assim como o tipo de *setup* associado e as ferramentas necessárias.
2. Realização de filmagens do processo de *changeover*, com recurso a uma câmara de vídeo.
3. Análise dos vídeos de modo a registar as operações de *changeover* efetuadas em cada posto e determinar o tempo necessário para proceder à sua realização.

Assim, numa fase inicial procedeu-se ao levantamento de todas as ferramentas existentes, assim como à observação de todas as mudanças que ocorrem ao longo da linha de produção. Na Figura 18 encontram-se representados os postos que necessitam de operações de *setup*, estando assinalado em cada posto o tipo de mudança requerido (HW, SW e/ou MAT) e, em alguns dos casos, o número de máquinas em que é necessário proceder à troca de *hardware*.



Figura 18 – Representação dos diferentes tipos de *setup* necessários em cada posto

Uma vez identificados os postos que exigiam a realização de trocas de ferramentas e/ou material, procedeu-se à filmagem de várias mudanças na linha em estudo, sendo esta uma das técnicas mais aconselhadas por Shingo na aplicação da sua metodologia, o SMED. Posteriormente, foi efetuada a análise dos vídeos, tendo sido descritas todas as operações de *changeover* realizadas pelos operadores em cada posto, utilizando um modelo de documento em *Excel* já existente para este efeito. Além disso, efetuaram-se cronometragens para obter a duração estimada das várias tarefas. A estimativa das mesmas foi obtida através da fórmula de PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Esta técnica foi utilizada para estimar a duração das atividades, obtendo-se um valor médio estimado com base no tempo mais provável (m), assim como nos tempos otimista (a) e pessimista (b), de acordo com a fórmula seguinte:

$$\text{Valor estimado} = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Devido à complexidade da linha, algumas das atividades eram realizadas em paralelo, o que tornou o acompanhamento de todo o processo de mudança difícil. Além disso, as trocas existentes na linha em estudo eram pouco frequentes, pelo que, foram recolhidos dados em outras linhas similares, com o objetivo de obter rapidamente um maior número de observações. Na Figura 19 é possível encontrar o descritivo das operações de *changeover* em cada posto, estando estas identificadas de acordo com o tipo de mudança, assim como as medições efetuadas e a duração estimada de cada operação. A coluna “FATOR” foi adicionada com o intuito de introduzir a frequência com que determinada operação tinha de ser efetuada num determinado posto, correspondendo assim a coluna da “DURAÇÃO TOTAL” à multiplicação das colunas “TEMPO ESTIMADO” pelo fator de frequência. A versão completa da tabela encontra-se no Anexo II.

POSTO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CHANGEOVER	TIPO DE CHANGEOVER	MEDIÇÕES (s)										PREVÍVEL (s)	ESTIMADAS (s)		TEMPO ESTIMADO	FAVOR	DURAÇÃO TOTAL	TIPO DE OPERAÇÃO
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		OUTRA (s)	PREVISTA (s)				
1	IN.A. Pagar e levar carrinho das bases para o início da linha	IN.A.	18,88	27,69	22,86	16,80	25,51	20,54	23,25	22,83	22,76	21,27	22,25	16,80	27,69	22,25	1	22,25	Ext.
2	PT1. Devolver material PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	23,86	18,76	19,56	23,45	25,75	17,34	23,43	19,63	22,87	17,78	21,24	17,34	25,75	21,34	1	21,34	Int.
3	PT2. Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	8,63	12,41	8,95	10,34	11,32	8,26	10,87	11,45	9,56	10,23	10,20	8,26	12,41	10,25	1	10,25	Int.
4	PT2. Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	10,41	9,76	9,61	10,07	8,96	7,75	10,34	9,85	7,82	8,76	9,29	7,75	10,41	9,22	1	9,22	Int.
5	PT3. Pagar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	9,36	15,40	22,46	10,19	13,41	9,76	8,45	12,34	10,80	9,50	12,17	8,45	22,46	13,26	1	13,26	Int.
6	PT4. Retirar o material do PRODUTO A do dispensador, trocar pelo novo dispensador e colocar o material do PRODUTO B	MAT	193,29	219,10	165,62	137,50	115,73	189,18	160,85	124,32	133,90	204,84	164,43	115,73	219,10	165,43	1	165,43	Int.
7	PT4. Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	32,99	41,10	35,50	49,24	39,57	36,32	48,74	37,90	38,54	39,67	39,96	32,99	49,24	40,34	1	40,34	Int.
8	PT4. Clicar em “STOP”	SW	3,75	4,43	5,98	3,58	4,43	3,51	4,72	5,23	4,19	3,56	4,34	3,51	5,98	4,47	1	4,47	Int.
9	PT4. Retirar base do PRODUTO A e arrumar base no suporte por trás do teclado	HW	26,48	28,96	32,73	27,32	24,56	26,13	25,63	24,74	25,39	34,98	27,69	24,56	34,98	28,38	1	28,38	Int.
10	PT4. Pagar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	7,89	12,33	7,14	10,44	13,87	9,21	10,23	9,77	8,54	9,16	9,86	7,14	13,87	10,07	1	10,07	Int.
11	PT4. Clicar em “START” – Selecionar o programa do novo produto e part number – Clicar em “OK”	SW	14,40	9,74	16,23	12,76	12,46	14,21	12,98	10,32	12,45	12,42	12,90	9,74	16,23	12,93	1	12,93	Int.
12	PT4. Retirar o material do PRODUTO A do dispensador e arrumá-lo no respetivo local de acondicionamento	MAT	40,33	34,26	37,82	39,28	32,54	36,12	38,91	37,11	32,56	31,23	36,02	31,23	40,33	35,94	1	35,94	Int.

Figura 19 – Excerto da tabela do estudo dos tempos das operações de *changeover* da situação inicial

Com base nos tempos estimados anteriormente, é possível observar, na Figura 20, a duração total das atividades de *changeover* em cada posto da linha em análise, encontrando-se estes ordenados de forma decrescente com o objetivo de identificar rapidamente os postos cuja mudança é mais demorada. Adicionalmente, encontra-se representado o modo como se encontram distribuídos os vários tipos de mudança em cada um dos postos. A categoria “Outros” representa todos os tipos de atividades que não pertencem a nenhum dos três tipos de mudança e que não se encontram diretamente relacionadas com nenhum posto sendo, no entanto, atividades necessárias no processo de *changeover*. De notar que, dos postos com mais que um equipamento, que necessitam de realizar mudança de *hardware* e/ou *software* (PT14, PT15 e PT16), os postos PT14 e PT15 apenas necessitam de realizar troca de um dos equipamentos para iniciar a produção do novo produto, pelo que o gráfico apenas contempla o tempo necessário para efetuar a mudança de um dos equipamentos do posto.

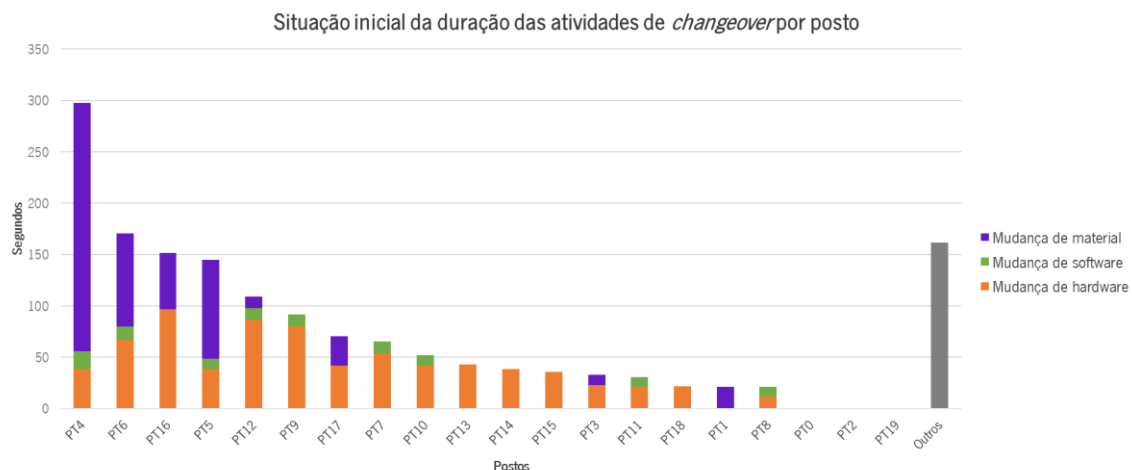


Figura 20 – Situação inicial da duração das atividades de *changeover* por posto

Através do gráfico acima é possível verificar que o PT4 é o posto *bottleneck* da mudança, tendo uma duração estimada de tempo de *changeover* de 298 segundos (aproximadamente 4 minutos e 58 segundos). Neste mesmo posto, o tipo de mudança com maior ocupação é a de material, representando 81,2% da duração total da mudança do posto. Também nos postos PT6 e PT5, este tipo de mudança exige demasiado tempo em comparação com os outros tipos de atividades. Além disso, é possível observar que praticamente todos os postos necessitam de realizar mudança de *hardware*, sendo os postos PT16, o PT12 e o PT9 os que possuem maior duração relativamente a este tipo de mudança. Por último, as mudanças de *software*, quando existentes, representam apenas uma pequena percentagem da ocupação das atividades de *changeover* em cada posto, não tendo grande impacto no tempo de paragem dos postos. Assim, pode-se concluir que as mudanças de material e de *hardware* são os dois tipos que representam maior ocupação em termos de atividades de *changeover*.

4.3.2 Estágio 1 – Separação das operações de *setup* interno e externo

O segundo estágio mencionado na metodologia de Shingo implica que as atividades sejam classificadas em operações internas e externas. As operações internas dizem respeito a todas as atividades que requerem a paragem do equipamento ou posto, enquanto as operações externas referem-se a todo o tipo de tarefas que podem ser realizadas com os equipamentos em funcionamento.

Portanto, todas as atividades de mudança de *hardware* e *software* foram classificadas como operações internas, pois a remoção dos *jigs* dos postos e as mudanças dos programas implicavam a paragem dos equipamentos. Além disso, como apenas se pode proceder à troca do material quando se finaliza a produção da última unidade no posto, as mudanças de material foram consideradas internas, uma vez que se realizam quando o posto se encontrar parado. Contrariamente, todas as atividades relacionadas

com o transporte dos carrinhos com as ferramentas para o início da linha foram consideradas externas, pois podem ser efetuadas enquanto os postos se encontram em funcionamento. Na última coluna da tabela do Anexo II, encontra-se a classificação das atividades de *changeover* descritas no estágio anterior em operações internas (“Int.”) e externas (“Ext.”), de acordo com a forma como estas eram realizadas na situação inicial. O gráfico da Figura 21 demonstra a distribuição das operações internas e externas de toda a linha, sendo que para os postos PT14 e PT15, apenas foi considerado o tempo de mudança de um só equipamento, dado ser apenas necessário realizar a troca de um deles para iniciar a produção do novo produto, tal como foi anteriormente mencionado.

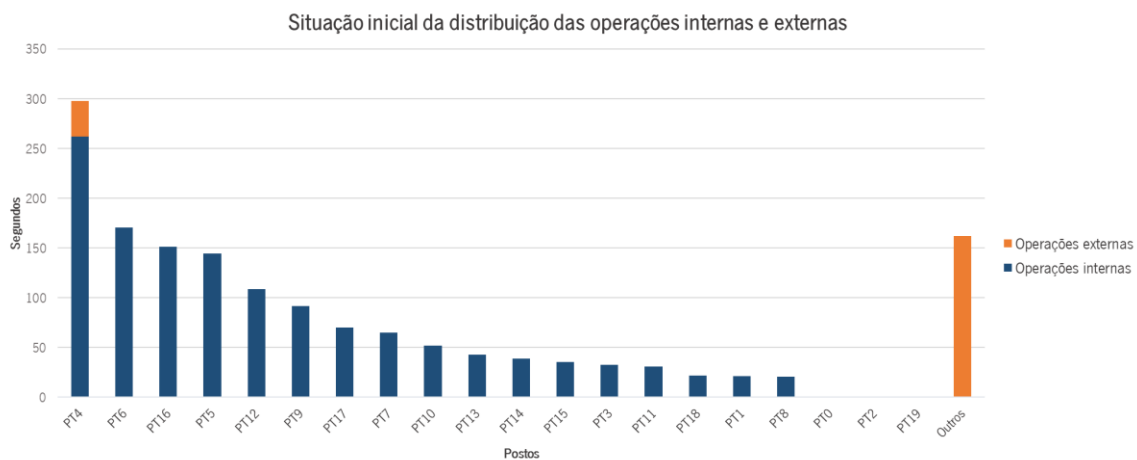


Figura 21 – Situação inicial da duração das operações de *changeover* internas e externas

Como se pode observar, em todos os postos, com a exceção do posto PT4, as operações eram realizadas internamente tendo estas uma duração total estimada de 22 minutos e 40 segundos. As atividades que foram classificadas como externas, e que não se encontram diretamente relacionadas com os postos da linha, foram consideradas na categoria “Outros”, pelo que este tipo de operações em toda a linha conta com uma duração total prevista de 3 minutos e 18 segundos, representando apenas 12,7% da duração total das operações de mudança. Deste modo, torna-se visível a predominância das atividades internas relativamente às externas em todos os postos da linha, o que indica que o tempo de paragem dos equipamentos é elevado, uma vez que este tipo de operações envolve a paragem total dos mesmos.

4.3.3 Levantamento dos principais problemas

Nesta subsecção descrevem-se detalhadamente os principais problemas inerentes ao tempo despendido na realização das trocas dos postos, à inexistência de procedimentos *standard* para a mudança da linha e da falta da matriz de *changeover*.

4.3.3.1 Tempo despendido na realização das atividades de *changeover*

Uma vez que as atividades de mudança não acrescentam valor ao produto, torna-se necessário minimizar o tempo despendido na realização deste tipo de operações, de modo a eliminar o maior volume possível de desperdícios existentes e que a troca em cada posto ocorra o mais rápido possível. Assim, após a observação de várias mudanças de produção na linha, tornou-se evidente a necessidade de implementar ações de melhoria pois, tal como referido anteriormente, alguns dos postos necessitam de um tempo elevado para efetuar a troca entre produtos.

Entre os três tipos de mudança identificados, as mudanças de *software* eram as que representavam o menor impacto no tempo de mudança, estando presentes num número reduzido de postos. Contudo, as mudanças de material e *hardware* revelaram uma grande ocupação no processo de mudança sendo, portanto, as que tinham maior impacto na duração das atividades de *changeover* e, consequentemente, no tempo de perda associado à mudança da linha. Assim, estes dois tipos de mudança foram considerados como os mais prioritários para proceder à redução do tempo de *setup*.

Adicionalmente, através da implementação do estágio 1 da metodologia SMED, foi possível observar que a proporção da duração das operações internas (87,3%) era muito elevada quando comparada com as operações externas (12,7%), o que implicava que o tempo de paragem dos equipamentos e da linha fossem elevados. Portanto, era fundamental que o máximo de operações de *changeover* fossem realizadas externamente, isto é, enquanto os postos se encontravam em funcionamento. Simultaneamente, foi também necessário proceder à otimização de algumas atividades para que o processo de *changeover* ocorresse de forma fluida e tivesse a menor duração possível.

4.3.3.2 Inexistência de *standard* para as atividades de mudança de produção

Adicionalmente, um dos principais problemas encontrava-se relacionado com a desorganização existente durante o processo de *changeover*. Apesar de as SPL's indicarem os procedimentos necessários para trocar cada posto, não existia distribuição das tarefas pelos operadores nem definição de quem era o responsável por realizar o *changeover* em cada posto. Em todos os eventos de mudança assistidos, os postos eram mudados por operadores de forma aleatória, sendo o *changeover* realizado à medida que fosse necessário. Uma vez que era notória a discrepância no tempo necessário para mudar cada posto, tornou-se evidente a necessidade de distribuir as operações de *changeover* da melhor forma pelos operadores, de modo a que a realização da mudança de produção tivesse o menor impacto possível na performance da linha.

Assim, a inexistência de uma sistemática para que todas as trocas de produção fossem realizadas da mesma maneira, a falta de distribuição das atividades pelos operadores, assim como da definição dos responsáveis por cada atividade contribuíam para a existência de vários problemas e desperdícios ao longo deste processo:

- Desorganização do processo, no qual os operadores não sabiam em que postos tinham de realizar a mudança.
- Esperas dos operadores devido ao desequilíbrio na distribuição de tarefas a serem executadas por cada um, obrigando, por vezes, que um operador esperasse que o outro tivesse terminado as suas tarefas.
- Realização repetida de operações de *changeover* por parte dos operadores por não saberem que estas já foram realizadas.
- Esquecimento na realização de algumas operações por realizarem as atividades de *changeover* de forma diferente em todos os eventos.

Portanto, a inexistência de um *standard* que documente a melhor forma de executar todo o processo de *changeover* de forma a que este fosse realizado sempre do mesmo modo e pelos mesmos operadores, tem associados vários problemas que fazem com que o processo seja demorado, conduzindo à diminuição da eficiência da linha. Contudo, devido à complexidade da mesma e ao facto de um operador realizar tarefas de produção em vários postos, não existe uma forma que permita verificar qual a melhor distribuição das operações de *changeover* pelos operadores que se traduza numa menor perda associada à realização da mudança da linha.

4.3.3.3 Inexistência da matriz de *changeover*

Tal como referido na secção 2.3.5.1, por vezes os tempos de *setup* eram considerados irrelevantes para o planeamento da produção, não sendo portanto evitadas as combinações entre mudanças de produtos mais críticas para que o tempo total despendido na realização das mesmas fosse minimizado. Assim, uma das exigências da fábrica foi a criação de uma matriz de perda de *changeover*, que contenha o tempo de perda associado à mudança de um produto para outro em cada linha de produção. Com esta informação, será possível verificar quais as combinações que se traduzem numa maior perda de produção, podendo ser analisada a melhor sequência de produção de lotes de diferentes tipos de produtos no momento do planeamento da produção. Para tal, tornar-se-á necessário encontrar de que forma deve ser calculado o valor, de modo a que a matriz de *changeover* represente a perda real de produção quando se realiza uma mudança na linha.

Atualmente existe um sistema que calcula automaticamente os tempos de *changeover* com base no tempo de passagem das unidades no último posto. Na Figura 22 encontram-se representados os valores médios de *setup* registados pelo sistema, entre os meses de janeiro e junho, os quais representavam o tempo necessário para realizar as mudanças na linha de um produto para o outro.

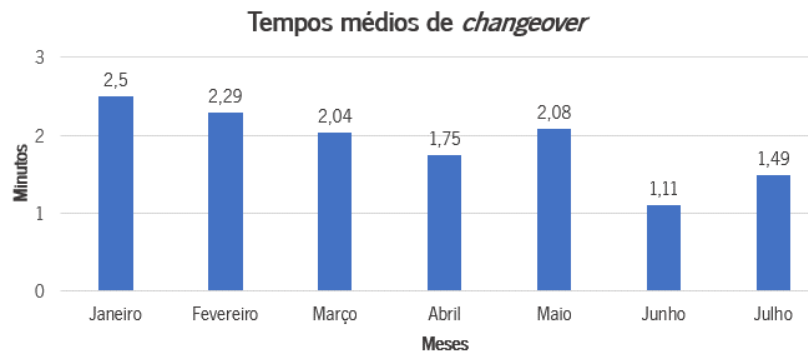


Figura 22 – Média dos tempos de *setup* dos eventos ocorridos em cada mês durante o período de janeiro e julho (Bosch, 2019a)

Como se pode verificar, os tempos de *setup*, variaram ao longo dos meses, demonstrando um processo de mudança instável, apresentando o mês de junho um valor muito inferior quando comparado com os restantes meses. Uma das causas desta variabilidade podia estar na forma como o *changeover* era realizado, pois sendo efetuado de diferentes maneiras por diferentes operadores, era expectável que se obtivessem também valores de *setup* distintos. O facto de existir uma grande variação deste tempo, e não haver estabilidade no processo de *changeover*, originou assim a necessidade de rever a forma como a perda do tempo de *changeover* estava a ser quantificada.

Assim, tendo como base o estudo apresentado por Sugai, McIntosh e Novaski (2007), foi efetuado o registo da hora de saída das peças no último posto da linha de produção, com o intuito de verificar a existência do fenómeno dos períodos de desaceleração e de aceleração, um dos aspetos não considerados na metodologia de Shingo, e proceder à medição da perda associada à realização do *changeover* na linha. Assim, foi analisada uma mudança da linha quando esta se preparava para mudar do Produto A para o Produto B, tendo sido efetuado o registo da hora de saída das peças no último posto da linha de produção desde cerca de 30 minutos antes da mudança do primeiro posto até 30 minutos após a saída da primeira peça do lote novo.

Quando o primeiro posto iniciou o *changeover*, haviam sido produzidas 19 peças do produto A, pelo que até à paragem total de produção deste produto saíram mais 38 peças da linha, durante um intervalo de cerca de 62 minutos. Após oito minutos sem saída de produtos, a primeira unidade B começou a ser entregue e os tempos de saída foram registados ainda por mais 30 minutos, tendo neste período sido

produzidos 20 produtos. No total, a mudança da produção foi acompanhada durante cerca de 130 minutos, tendo sido fabricados um total de 77 produtos durante este intervalo. O resultado da primeira análise dos dados encontra-se representado no gráfico presente na Figura 23, no qual foi realizada a contagem de peças produzidas na linha por minuto.

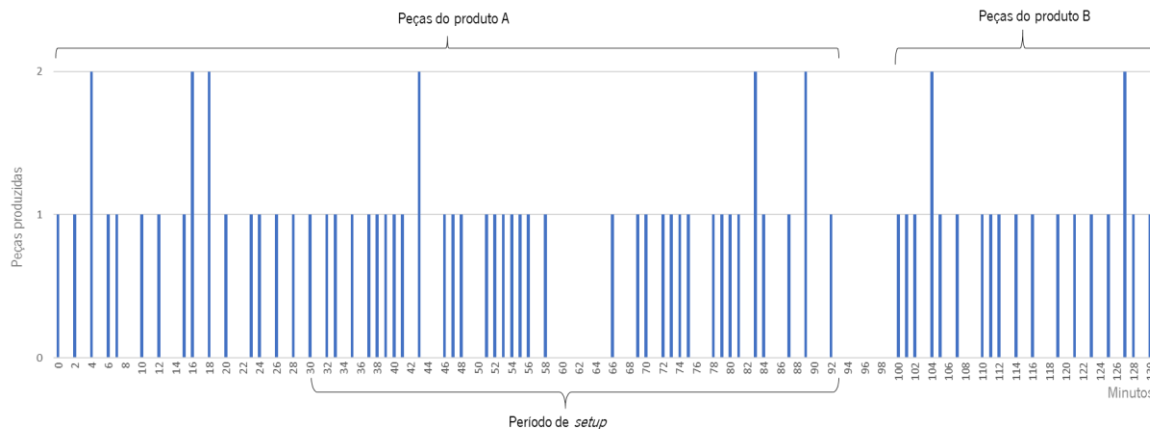


Figura 23 – Número de peças produzidas por minuto durante o período analisado

Através do gráfico acima pode-se observar que desde o momento em que se iniciou o *setup* até terminarem todas as atividades de *changeover* na linha ("Período de *setup*"), os períodos sem produção de peças tornaram-se, por vezes, mais alargados, tal como aconteceu entre o 58º e o 66º minuto. Além disso, é possível observar um longo período no qual não houve produção de peças entre a última peça A e a primeira peça B (entre o 92º e o 100º minuto). Na Figura 24 encontra-se o resultado da análise dos dados recolhidos, estando estes representados de outra forma para uma melhor perceção de todo o processo, tendo sido realizada a contagem de peças produzidas em intervalos de tempo de 3 minutos.

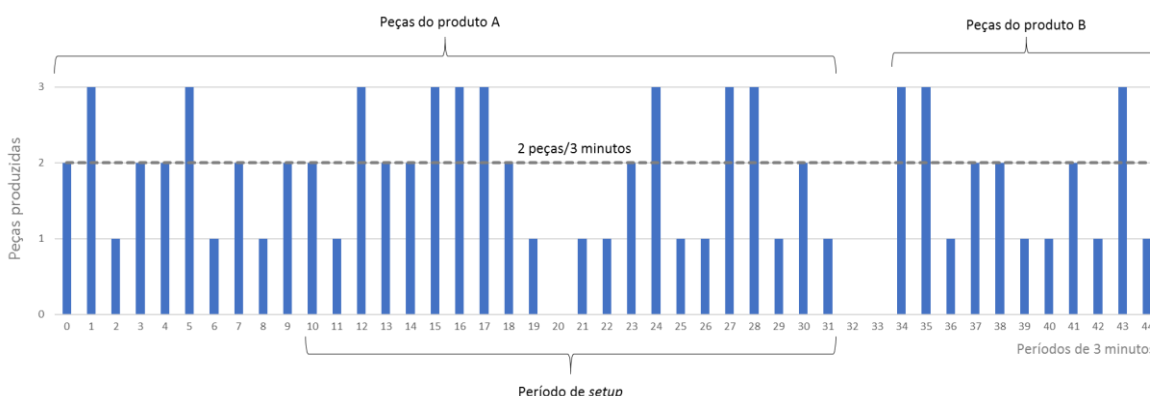


Figura 24 – Número de peças produzidas em intervalos de 3 minutos durante o período analisado

A linha a tracejado refere-se à quantidade prevista da produção para intervalos de 3 minutos. Considerando que o tempo de ciclo da linha era de 88,3 segundos, esta foi calculada da seguinte forma:

$$(3 \times 60)/88,3 = 2 \text{ peças}$$

Foi durante o período de *setup* até ao início da produção do Produto B, que o nível esperado de capacidade produtiva não foi alcançado com a mesma frequência, estando a quantidade de peças produzidas a cada 3 minutos muito abaixo da quantidade prevista em vários períodos. Já durante os últimos 30 minutos em que se registou a saída das peças do Produto B, não se observou nenhum período sem saída de unidades da linha, tendo o nível esperado de produção sido atingido diversas vezes. Deste modo, nos períodos antes do início do *changeover*, assim como a partir do instante em que se iniciou a produção de peças do Produto B, pode-se considerar que a quantidade produzida atingiu a quantidade de peças previstas, pelo que se pode considerar que a linha estaria com a capacidade de produção estabilizada, não se verificando, portanto, o fenómeno de aceleração da linha após o *setup*.

Tendo em conta que o tempo de ciclo estimado para a linha era de 88,3 segundos, foram calculadas quantas peças deveriam ser produzidas em cada um dos períodos, designados de A a D, sendo realizada uma comparação com a produção real observada (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados obtidos de acordo com a análise realizada

Descrição do período	Duração do período [min]	Quantidade de peças previstas	Quantidade de peças produzidas
(A) Antes do início do <i>changeover</i> do primeiro posto	30	$30 \text{ min} \times 60/88,3 \approx 20$	19
(B) Durante o período de realização de atividades de <i>changeover</i> ao longo da linha	62	$62 \text{ min} \times 60/88,3 \approx 42$	38
(C) Período entre última unidade do produto A e a primeira do produto B	8	$8 \text{ min} \times 60/88,3 \approx 5$	0
(D) Desde a produção da primeira unidade do produto B	30	$30 \text{ min} \times 60/88,3 \approx 20$	20
TOTAL	130	87	77

Como já foi anteriormente referido, pode-se concluir que durante os períodos A e D, o processo se encontrava estabilizado. Contudo, durante o período em que os operadores realizavam as atividades de *changeover* ao longo da linha (período B), verificou-se que a quantidade produzida foi inferior à quantidade prevista, tendo sido fabricados cerca de menos 4 unidades. Além disso, durante o período C, que contou com uma duração de 8 minutos, não foram produzidas unidades. Contudo, durante este intervalo, a linha teria capacidade para produzir aproximadamente 5 unidades. Assim, durante todo o período analisado foram produzidas um total de 77 peças, ao invés das 87 unidades que se esperavam ter produzido, correspondendo assim a uma diferença de 10 unidades. O tempo de perda associado ao *changeover* pode ser então calculado da seguinte forma:

10 x 88,3=883 segundos ou 14 minutos e 43 segundos

Após esta análise, pode-se concluir que a forma como a perda de *changeover* estava a ser calculada não refletia a perda real da produção quando se realizava a troca de produção na linha, encontrando-se os dados retirados pelo sistema muito distantes do valor de perda real obtido através da análise efetuada. O facto de existir um período de desaceleração fez com que a cadência da linha diminuísse, pelo que a perda de *changeover* não deverá ser apenas referente ao tempo durante o qual não existe produção entre a última unidade do Produto A e a primeira do Produto B. Todavia, uma vez que este tipo de análise é extenso, exigindo muito tempo na recolha de dados, torna-se necessário criar uma forma de chegar aos valores de perda de mudança para cada combinação de produtos de forma ágil e que permita estender rapidamente a existência da matriz de *changeover* para as restantes linhas da fábrica.

Ao longo da mudança da linha foram ainda registados os operadores que realizaram cada operação de *changeover*, estando os responsáveis por cada tarefa registada no Anexo II, na coluna “RESPONSÁVEL”. No entanto, apesar de ter sido identificada esta alocação das tarefas de mudança pelos operadores, não existia nenhum padrão que permitisse definir quais os operadores que realizavam sempre as mudanças de cada posto. Isso porque, como mencionado anteriormente, não existe nenhum *standard* que documente a distribuição das operações de *changeover* pelos operadores para que o processo de mudança seja realizado da mesma forma em todos os eventos.

5 PROPOSTAS DE AÇÕES DE MELHORIA

Ao longo deste capítulo apresentam-se as propostas de melhoria face aos principais problemas identificados no capítulo anterior. Assim, tendo como base os restantes estágios da metodologia SMED, apresentam-se propostas para reduzir o tempo despendido na realização de trocas de produção. Adicionalmente, apresenta-se um algoritmo que permitirá a obtenção da matriz com o tempo de perda associado à mudança entre os vários produtos da linha, assim como na definição dos procedimentos *standard* para o processo de *changeover*.

5.1 Redução da duração das atividades de mudança

Uma vez realizada a análise inicial do processo de *changeover*, através do estágio preliminar e do estágio 1 da metodologia SMED, as restantes etapas foram realizadas com o intuito de reduzir os tempos das atividades de mudança dos postos. De acordo com a secção 2.3.5 – *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), os estágios 2 e 3 não necessitam de ser realizados separadamente, tendo a sua aplicação sido efetuada em simultâneo.

O estágio 2 da metodologia de Shingo exige a realização de uma nova análise de todas as atividades de mudança e verificar se das operações que foram consideradas internas, existem algumas que podem ser realizadas enquanto os equipamentos se encontram em funcionamento, ou seja, se podem ser convertidas em operações externas. Neste sentido, e tendo em conta os postos da linha com maior duração de atividades de *changeover*, foram analisadas quais as operações que poderiam ser convertidas em externas. Por último, o estágio 3 envolve a otimização de todos os aspetos das operações de *setup*, quer sejam internas ou externas, com o intuito de tornar o processo de mudança mais rápido e simples. Através da análise de todas as atividades de *changeover* concluiu-se que algumas poderiam ser alvo de melhoria. Assim, de seguida apresentam-se detalhadamente algumas propostas de melhoria.

Proposta 1 – Conversão de atividades internas em externas no posto PT4

Tendo-se iniciado pelo posto com maior duração total de atividades de *changeover* (PT4), as tarefas de mudança que são necessárias realizar encontram-se descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Descrição das tarefas de *changeover* do posto PT4 realizadas de acordo com a situação inicial

PASSOS	POSTO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CHANGEOVER	TIPO DE CHANGEOVER	DURAÇÃO ESTIMADA [(seg)]	TIPO DE OPERAÇÃO
1	PT4	Retirar o dispensador do PRODUTO A, trocar pelo novo dispensador e colocar o material do PRODUTO B	MAT	165,4	Int.
2	PT4	Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	40,3	Int.
3	PT4	Clicar em "STOP"	SW	4,5	Int.
4	PT4	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base no suporte por trás do teclado	HW	28,4	Int.
5	PT4	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	10,1	Int.
6	PT4	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto e <i>part number</i> + Clicar em "OK"	SW	12,9	Int.
7	PT4	Retirar o material do PRODUTO A do dispensador, devolvendo-o e arrumar o dispensador no respectivo local de acondicionamento	MAT	35,9	Ext.

Após a análise de todas as atividades, verificou-se que algumas das operações efetuadas na troca de um dispensador contendo material de três tipos distintos, de pequenas dimensões, realizada através dos passos 1 e 7 descritos na tabela, poderiam ser convertidas em atividades externas. Esta mudança envolvia retirar o dispensador do Produto A e colocá-lo debaixo do posto, pegar no novo dispensador e prepará-lo com os três tipos de material do Produto B e colocá-lo no posto para iniciar a produção do novo produto. Uma vez realizada a mudança do posto e já estando o posto em funcionamento, eram retirados os três tipos de material do Produto A do dispensador, sendo estes colocados nas respectivas caixas de arrumação para proceder à sua devolução através das rampas de abastecimento. A realização dos passos 1 e 7 tinha uma duração total estimada de 201 segundos, dos quais 165 segundos correspondiam a operações internas.

Na maioria dos eventos em que se assistiu à mudança, apenas o passo 7 era realizado externamente, com uma duração aproximada de 36 segundos. No entanto, uma vez que existia um dispensador suplente no posto, verificou-se que a sua preparação deveria ser sempre efetuada com o equipamento em funcionamento. Esta mudança deveria ser realizada por uma pessoa externa à linha de produção, antes de iniciar a mudança no posto PT4, sendo esta prática já realizada em outras linhas da fábrica. Assim, quando todas as peças do lote antigo tivessem sido processadas no posto, apenas seria necessário trocar o dispensador com o Produto A pelo dispensador já pré-preparado com o Produto B. Deste modo, os passos para mudar o posto PT4 passariam a ser os seguintes apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Descrição das tarefas de *changeover* do posto PT4 após as propostas de melhoria

PASSOS	POSTO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CHANGEOVER	TIPO DE CHANGEOVER	DURAÇÃO ESTIMADA [(seg)]	TIPO DE OPERAÇÃO
1	PT4	Pré-preparação do dispensador com o material do PRODUTO B e colocá-lo no posto, aguardando a mudança	MAT	153,6	Ext.
2	PT4	Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	40,3	Int.
3	PT4	Clicar em "STOP"	SW	4,5	Int.
4	PT4	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base no suporte por trás do teclado	HW	28,4	Int.
5	PT4	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	10,1	Int.
6	PT4	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto e <i>part number</i> + Clicar em "OK"	SW	12,9	Int.
7	PT4	Trocar o dispensador do Produto A pelo dispensador pré-preparado do Produto B	MAT	11,9	Int.
8	PT4	Retirar o material do PRODUTO A do dispensador, devolvendo-o e arrumar o dispensador no respectivo local de acondicionamento	MAT	35,9	Ext.

Tal como se pode observar, a pré-preparação do dispensador com o Produto B seria realizada como operação externa antes da mudança do posto, passando a troca do dispensador do Produto A pelo dispensador pré-preparado do novo produto a ser realizada internamente. Com esta alteração, a duração total de atividades de *changeover* internas deste posto para a troca do dispensador do posto PT4 passaria de um total de 165 segundos para apenas 12 segundos, correspondendo a uma redução de cerca de 92,7% relativamente à situação inicial.

Proposta 2 – Conversão de atividades internas em externas no posto PT6

Tendo como base a prática implementada noutras linhas da fábrica, e seguindo a mesma sistemática da proposta anterior para o posto PT6, no qual se propõe substituir um rolo num dispensador de etiquetas quando se efetua a troca de um produto para outro, também algumas das atividades de mudança poderiam ser realizadas externamente.

Uma vez que só existia um dispensador de etiquetas, era necessário desconectar o dispositivo, retirar o rolo do Produto B para depois colocar o rolo do produto A, sendo necessário conectá-lo novamente. Com a colocação de um dispositivo suplente, a versátil teria oportunidade de preparar o dispensador de etiquetas do produto que ia entrar em produção antes de iniciar a mudança do posto, sendo depois necessário proceder apenas à troca entre os dispositivos no momento do *changeover*. De igual modo, após ter terminado a mudança do posto PT6, a versátil procederia à arrumação do rolo de etiquetas do produto.

Com esta proposta, a preparação do dispensador de etiquetas passaria a ser executada como operação externa, demorando aproximadamente 52 segundos, passando apenas a troca entre os dois dispensadores a ser realizada como operação interna. Esta alteração reduziria a duração das atividades de *changeover* internas da troca do dispensador de etiquetas de 64 segundos para cerca de 12 segundos, o que equivale a uma redução de cerca de 81,3%.

Proposta 3 – Conversão de atividades internas em externas no posto PT5

Ainda no PT5, as atividades de mudança envolvem retirar os três tipos de materiais existentes em três caixas distintas para os respetivos sacos de arrumação sendo, posteriormente, colocados nas respetivas caixas de acondicionamento, para serem devolvidas através das rampas de abastecimento. Uma vez que o material é difícil de manusear devido ao seu reduzido tamanho, a realização desta atividade de mudança do material torna-se demorada, levando ao aumento do tempo de paragem do equipamento. Na Figura 25 é possível observar o operador da linha a retirar o material de uma das caixas para um

saco, que será depois arrumado numa caixa para efetuar a sua devolução, necessitando de repetir o procedimento três vezes.



Figura 25 - Mudança de material numa das três caixas no posto PT5

Seguindo a mesma metodologia das propostas anteriores, a preparação das caixas com material do Produto B poderia ser efetuada por uma pessoa externa ao processo, a versátil, de modo a que quando o momento de mudança do posto inicie seja apenas necessário proceder à troca das caixas pré-preparadas de material do Produto A pelas do Produto B. Desta forma, a versátil poderia proceder à arrumação do material do Produto A quando a mudança no posto PT5 tivesse sido concluída. Realizando a mudança do material desta forma, a pré-preparação e a arrumação dos materiais passariam a ser realizadas como atividades externas, sendo apenas a troca das três caixas executadas como atividades internas.

Com a implementação desta proposta, o tempo total despendido em operações internas na realização da troca do material mencionado passaria de 96 segundos para aproximadamente 20 segundos, correspondendo a uma redução de 79,1%.

Proposta 4 – Implementação de mecanismos de fixação rápida nos dispositivos do posto PT14

Uma outra técnica enquadrada no estágio 3 do SMED, que permite otimizar os processos de mudança, encontra-se relacionada com a implementação de mecanismos de fixação e engate de ferramentas rápidos. O posto PT14 é composto por 24 equipamentos que funcionam em paralelo, nos quais é necessário desapertar dois parafusos manualmente para proceder à remoção de cada uma das bases, sendo necessário realizar o procedimento inverso para a sua colocação. Uma das melhorias que poderia ser aplicada neste posto seria a colocação de um mecanismo de aperto rápido, tal como demonstrado na Figura 26.

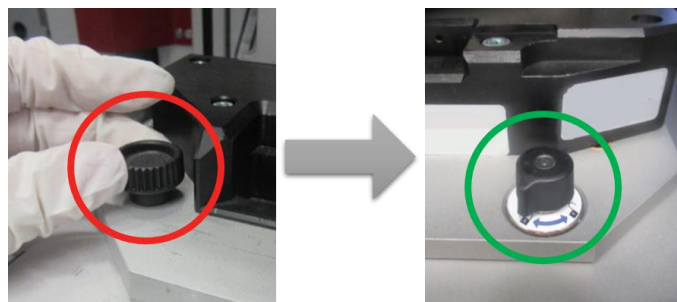


Figura 26 – Melhoria no aperto das bases do posto PT14

Esta prática já se encontra presente noutras linhas, tendo também já sido mencionada e proposta a sua implementação. Contudo, uma vez que esta proposta requer a alteração de todas as bases para a implementação dos mecanismos de aperto rápido, seria necessário proceder à sua avaliação tendo em conta outros fatores, pois o investimento para proceder à modificação de todas as bases poderá não se justificar. No entanto, a sua possível substituição resultaria numa redução do tempo de substituição de cada base de 39 segundos para cerca de 28 segundos.

Proposta 5 – Realização de atividades de *changeover* em paralelo

Uma das técnicas utilizadas no estágio 3 da metodologia SMED inclui a execução de atividades por mais do que um operador, i.e., em paralelo, de modo a reduzir o tempo de *changeover*. Na linha em questão, quando a versátil termina as atividades de pré-preparação, ou outras atividades que necessitam de ser realizadas externamente antes do *changeover*, poderá auxiliar na mudança da linha realizando atividades em simultâneo com os restantes operadores. Assim, a sua alocação a alguns dos postos será essencial, o que permitirá reduzir o tempo e o impacto da mudança da linha.

Tendo em conta que o posto PT14 possui 24 células que funcionam em paralelo e que todas necessitam de realizar mudança de *hardware*, isto é, proceder à troca das bases, torna-se essencial fixar a versátil na realização da mudança de todas as células. Isto porque, à medida que o posto vai processando as unidades, as células vão ficando disponíveis para efetuar a troca da base e iniciar a produção do novo produto. Desta forma, ao alocar um agente externo ao processo na mudança deste posto, todas as atividades de mudança serão realizadas paralelamente às restantes tarefas de *changeover* que vão surgindo ao longo deste processo, bem como às operações que os operadores têm de efetuar durante os seus ciclos de trabalho, reduzindo assim o impacto no tempo de perda da mudança da linha.

No Anexo III é possível observar a descrição de todas as tarefas de *changeover* com base em todas as propostas de melhorias mencionadas anteriormente, assim como as estimativas de duração das novas atividades resultantes da aplicação da metodologia SMED. Neste sentido, foi necessário observar novamente as mudanças em linhas cujas propostas já se encontravam implementadas, de modo a obter

uma estimativa da duração das mesmas. Além disso, as atividades encontram-se classificadas em internas e externas de acordo com o tipo de operação, tendo em conta as melhorias propostas anteriormente.

5.2 Algoritmo para simulação da perda associada ao *changeover*

De modo a responder à necessidade de criar uma matriz que contemplasse o tempo de perda associado à realização da troca de produção entre cada produto da linha, surgiu a necessidade de criar uma forma de obter esta informação de forma fácil e rápida. Isto para que fosse possível estender a existência da matriz de *changeover* para as restantes linhas da fábrica. Tal como referido na secção 2.4 – Simulação como suporte à filosofia *Lean*, a simulação tem sido utilizada como um auxílio na implementação da filosofia *Lean*, uma vez que uma das suas fraquezas é o facto de enfatizar o método “tentativa e erro” e a experimentação. Assim, esta forma de suporte permite simular rapidamente vários cenários, identificar as mudanças que terão mais impacto num determinado sistema de produção e quantificar os benefícios que podem ser alcançados com a implementação de determinadas melhorias.

Assim, foi criado um algoritmo em *Visual Basic* que permite através da simulação dos instantes de entrada e saída das peças ao longo dos postos da linha, bem como dos momentos de *changeover*, obter uma estimativa do valor teórico da perda associada à realização da mudança de um produto para o outro, de acordo com a atribuição das tarefas de mudança pelos operadores pré-definida. Desta forma será possível obter a matriz de *changeover* de forma rápida e ágil, a qual poderá fazer parte do planeamento da produção e assim evitar as combinações mais críticas na sequência de produção dos produtos.

A explicação do funcionamento do algoritmo tem como base a informação referente ao estado inicial da situação de *changeover* da linha sendo, portanto, realizada uma simulação inicial. Assim, tendo-se iniciado pela realização do estudo de tempos de todas as operações de *changeover* na linha, a informação que consta no Anexo II deverá ser introduzida na folha de um ficheiro Excel já existente na fábrica, que se encontra representada na Figura 27, tendo sido realizadas algumas alterações.

OPERAÇÕES QCO																					
ID	POSTO	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO DE CHANGEOVER	TIPO CHANGEOVER	APLICÁVEL ÀS COMBINAÇÕES	TIPO OPERAÇÃO	MEDIÇÕES (S+3)										ESTIMATIVAS					
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROXIMO (H)	OTIMISTA (O)	PESSIMISTA (P)	TEMPO ESTIMADO	FATOR	DURAÇÃO TOTAL
1	N.A.	Fezer a lavar carinha das barras para início da linha	N.A.	T0045	Externa	10,10	27,69	22,86	19,10	25,31	20,34	23,39	22,13	22,74	21,27	22,29	19,49	27,69	22,29	1	22,29
2	PT1	Desenvolver material do PRODUTO A e confirmar se pertence ao material do PRODUTO B	MAT	T0045	Interna	23,84	19,76	19,56	23,48	25,75	17,34	23,43	19,63	22,87	17,78	21,24	17,34	25,75	21,34	1	21,34
3	PT3	Desenvolver o valor do material do PRODUTO A e confirmar se pertence ao material do PRODUTO B	MAT	T0045	Interna	8,63	12,41	8,96	10,34	11,32	8,24	10,07	11,49	9,56	10,23	10,20	8,24	12,41	10,25	1	10,25
4	PT3	Retirar barra do PRODUTO A e arrumar barra na grelha	HW	T0045	Interna	10,41	9,76	9,61	10,07	8,56	7,75	10,34	9,18	7,02	8,76	9,29	7,75	10,41	9,22	1	9,22
5	PT3	Fezer a lavar da PRODUTO B e encerrar na depositiva	HW	T0045	Interna	9,26	15,40	22,46	10,19	12,41	9,76	8,45	12,34	10,89	9,50	12,17	8,45	22,46	13,24	1	13,24
6	PT4	Retirar o material do PRODUTO A da depositiva e arrumá-lo, trazer pela nova depositiva e colocar o material do PRODUTO B	MAT	T0045	Interna	193,29	219,10	165,62	137,59	155,73	159,18	160,85	124,32	133,90	204,04	164,43	165,73	219,10	165,43	1	165,43
7	PT4	Desenvolver o valor do material do PRODUTO A e confirmar se pertence ao material do PRODUTO B	MAT	T0045	Interna	32,49	41,10	35,50	49,24	39,57	34,32	40,74	37,90	38,54	34,67	34,94	32,49	49,24	40,34	1	40,34
8	PT4	Clicar em "STOP"	SW	T0045	Interna	3,75	4,43	5,98	3,51	4,43	3,51	4,72	5,23	4,19	3,56	4,34	3,51	5,98	4,47	1	4,47
9	PT4	Retirar barra do PRODUTO A e arrumar barra na grelha para início da linha	HW	T0045	Interna	24,40	28,96	32,73	27,32	24,54	24,13	25,63	24,74	25,39	34,98	27,69	24,54	34,98	28,38	1	28,38
10	PT4	Fezer a lavar da PRODUTO B e encerrar na depositiva	HW	T0045	Interna	7,89	12,33	7,14	10,44	12,17	9,21	10,23	9,77	8,54	9,16	9,14	7,14	12,33	10,07	1	10,07
11	PT4	Clicar em "START" e Selecionar o programa de novo produto e pertence a	SW	T0045	Interna	14,40	9,74	16,23	12,76	12,46	14,21	12,90	10,32	13,45	12,42	12,90	9,74	16,23	12,93	1	12,93
12	PT4	Retirar o valor do PRODUTO A da depositiva e arrumá-lo na depositiva local do material do produto	MAT	T0045	Externa	40,33	34,26	37,82	39,29	32,54	34,12	31,81	37,11	32,54	31,23	34,82	31,23	40,33	35,94	1	35,94
13	PT5	Desenvolver o valor do material do PRODUTO A e confirmar se pertence ao material do PRODUTO B	MAT	T0045	Interna	93,63	100,63	84,34	104,43	97,34	103,70	94,23	102,4	101,35	94,21	94,12	84,34	103,70	95,77	1	95,77
14	PT5	Clicar em "STOP"	SW	T0045	Interna	4,41	4,81	5,18	4,70	5,18	4,14	4,41	4,81	4,11	4,81	4,99	4,18	7,41	5,08	1	5,08
15	PT5	Retirar barra do PRODUTO A e arrumar a mesma na carinha	HW	T0045	Interna	17,01	11,94	16,21	19,39	15,42	11,54	14,45	15,70	11,34	14,60	16,17	11,94	19,39	16,00	1	16,00
16	PT5	Fezer a lavar da PRODUTO B e encerrar na parte	HW	T0045	Interna	21,93	17,77	19,45	11,54	22,93	19,45	11,73	25,70	23,41	29,30	21,69	17,77	29,30	22,30	1	22,30
17	PT5	Clicar em "START"	SW	T0045	Interna	7,92	6,97	4,24	3,95	3,23	5,87	5,92	4,68	3,93	5,68	5,20	3,23	7,92	5,33	1	5,33

Figura 27 - Folha para preenchimento dos dados para o estudo dos tempos

Na folha apresentada na Figura 27, além da descrição de todas as operações e das medições efetuadas para cada uma, deverá ser classificado o tipo de *changeover* correspondente (HW, SW e/ou MAT), assim como o tipo de operação (interna ou externa). Além disso, deverão ser indicadas quais as combinações em que determinada operação se aplica, tendo em consideração os produtos que são fabricados na linha. Caso seja necessário realizar uma determinada atividade em todas as combinações, deverá ser selecionada a opção "TODAS". Caso contrário, deverão ser selecionadas apenas as combinações nas quais a operação tem de ser executada.

Uma vez inserida toda a informação, e obtidas as estimativas da duração de todas as atividades necessárias para a realização da troca em cada posto da linha, tornou-se necessário acrescentar folhas ao ficheiro *Excel* já existente, para a introdução de diversos dados relativamente à linha e ao processo de mudança, que permitissem obter os valores para a matriz de *changeover*.

Primeiramente, foi criada uma folha para inserção do tempo de ciclo (TC) de cada um dos operadores que operam na linha para cada um dos produtos fabricados (Figura 28). Assim, deve ser inserido o número de operadores da linha e indicar, através de uma sigla, os operadores externos que poderão auxiliar na realização das atividades de mudança. As tabelas para cada um dos produtos são geradas automaticamente após clicar no botão "Inserir dados", sendo apenas necessário introduzir os valores dos tempos de ciclo de cada operador para cada um dos produtos, informação esta que se encontrava presente nas instruções de trabalho *standard* da linha. Na Figura 28 é possível observar as tabelas com informação dos tempos de ciclo de cada um dos operadores para os produtos A e B da linha em estudo.

INFORMAÇÕES DOS OPERADORES

LINHA: ABC

Nº OPERADORES: 7

OPERADORES EXTERNOS: V

Inserir dados

Eliminar dados

Designação modelo	PRODUTO A						
Operador	1	2	3	4	5	6	7
TC [seg]	88,3	82,1	77,1	82,9	82,2	77	45,6

Designação modelo	PRODUTO B						
Operador	1	2	3	4	5	6	7
TC [seg]	88,3	82,1	77,1	82,9	82,2	77	45,6

Figura 28 – Inserção dos tempos de ciclo de cada operador para cada produto

Posteriormente, procedeu-se à criação de outra folha para introduzir várias informações relativamente ao processo de *changeover*, tal como se pode observar na Figura 29.

DADOS CHANGEOVER

LINHA: ABC

DE: PRODUTO A

PARA: PRODUTO B

Atualizar e verificar dados

Gerar gráficos

Valor QCO

Eliminar

Valor de perda de changeover

N	Posto	Precedências	Operadores	Pecas por máquina	VIP por posto	Quantas pecas necessita esvaziar?	Tipo <i>changeover</i>	Operador a realizar mudança	VIP cumulativo	T_QCO(interno A->B) [seg]
1	PT1		1	12	12	1	MAT			
2	PT2	PT1	1	2	2					
3	PT3		1	1	1	1	MAT, HV			
4	PT7	PT2, PT3	1	2	2	2	HV, SV			
5	PT0		2	4	4					
6	PT8	PT0, PT7	12	1	1	1	HV, SV			
7	PT4		2,3	1	1	1	MAT, HV, SV			
8	PT5	PT4	3	1	1	1	MAT, HV, SV			
9	PT6	PT5	3,4	2	2	2	MAT, HV, SV			
10	PT9	PT6, PT8	2,4	1	1	1	HV, SV			
11	PT10	PT9	4	2	2	2	HV, SV			
12	PT11	PT10	4,5	1	1	1	HV, SV			
13	PT12	PT11	5	1	1	1	MAT, HV, SV			
14	PT13	PT12	5	1	1	1	HV			
15	PT14	PT13	5	24	24	1	HV			
16	PT15	PT14	5,7	2	2	1	HV			
17	PT16	PT15	6	2	2	2	MAT, HV			
18	PT17	PT16	6,7	1	1	1	MAT, HV			
19	PT18	PT17	7	1	1	1	HV			
20	PT19	PT18	7	1	1					

Figura 29 – Inserção de dados relativamente ao processo de *changeover*

Uma vez que na linha em estudo a mudança do Produto A para o Produto B, e vice-versa, envolvem as mesmas atividades, será indiferente a escolha da combinação para a análise. Assim, iniciando-se pela seleção da combinação de mudança do Produto A para o Produto B, através do preenchimento dos campos “DE” e “PARA”, procede-se ao preenchimento dos seguintes dados em cada coluna da tabela relativamente à linha em análise:

1. “**Posto**” – Devem ser inseridos os postos da linha por ordem do fluxo do produto.
2. “**Precedências**” – Indicar as precedências para cada posto, sendo possível seleccionar mais que um posto. Esta coluna encontra-se preenchida de acordo com a informação contida no fluxograma da Figura 13 do capítulo anterior.

3. **“Operadores”** – Preencher os números dos operadores que operam em cada posto, com base na informação da Figura 14 do capítulo anterior, onde se encontra representado o *layout* da linha e a representação do ciclo de cada operador.
4. **“Quantidade de equipamentos”** – Inserir quantos equipamentos existem em cada posto, isto é, o número de peças em paralelo que é possível processar em cada um.
5. **“WIP por posto”** – Considerando a capacidade máxima da linha, indicar para cada posto a quantidade total de peças que é possível encontrar em processamento. No caso de existirem bases WIP entre postos, isto é, uma base para colocar unidades que foram processadas no posto precedente, estas unidades deverão também ser aqui contabilizadas.
6. **“Quantos equipamentos necessita esvaziar?”** – Definir, da quantidade total de equipamentos existentes em cada posto, quantos são necessários esvaziar para iniciar o *changeover*.
7. **“Tipo de *changeover*”** – Indicar o(s) tipo(s) de mudança em cada posto de acordo com a nomenclatura definida anteriormente (MAT, HW e SW), com base na informação recolhida relativamente ao tipo de *setup* que cada posto necessita (Figura 18). Nesta secção apenas serão consideradas as atividades internas, dado que será assumido que apenas estas terão impacto no tempo de perda de *changeover* da linha.

Uma vez preenchidos estes campos, é necessário clicar no botão “Atualizar e verificar dados”, para proceder à verificação de eventuais erros no preenchimento dos dados, como por exemplo, confirmar se não foi colocado um número de equipamentos necessários para esvaziar o posto superior ao número de equipamentos existente em cada posto. No caso de ser inserido um número de equipamentos para esvaziar superior, será apresentado um alerta (Figura 30).

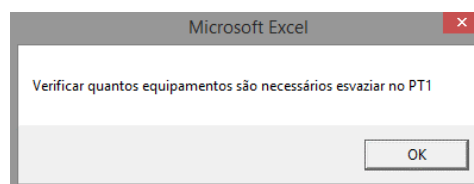


Figura 30 - Alerta gerado em caso de inserção de dados incorretos

Além disso, o botão procede à alteração da terceira coluna, referente aos operadores do posto, sendo substituído pelo número de um só operador, de acordo com o que possuir maior tempo de ciclo. Esta instrução encontra-se relacionada com o facto de se considerar que em postos partilhados, isto é, postos nos quais operam mais que um operador, é o operador com maior tempo de ciclo que determina a cadência do posto e, portanto, será assumido como se fosse o único operador do posto.

Adicionalmente, a coluna “WIP cumulativo” é preenchida automaticamente de acordo com o total de unidades que têm de ser processadas em cada posto, correspondendo este à soma das unidades em WIP presentes em todos os postos precedentes com as unidades do próprio posto. Ou seja, os valores desta coluna indicarão a quantidade total de peças do Produto A que serão fabricadas em cada posto. O último posto da linha definirá assim o total de peças do Produto A para as quais será realizada a simulação do processo produtivo. Além disso, a última coluna (“T_QCO”) é atualizada com o tempo necessário para efetuar as operações internas de todos os tipos de mudança que foram selecionados na coluna “Tipo de *changeover*” para cada posto. Uma vez terminado o preenchimento com a informação relativamente à linha em estudo e realizada a verificação e atualização dos dados, as duas últimas colunas foram preenchidas, tendo sido obtido o seguinte resultado:

DADOS CHANGEOVER

LINHA: ABC

DE: PRODUTO A

PARA: PRODUTO B

Atualizar e verificar dados

Gerar gráficos

Valor QCO

Eliminar

Valor de perda de changeover

N	Posto	Precedências	Operadores	Peças por máquina	WIP por posto	Quantas peças necessita esvaziar?	Tipo <i>changeover</i>	Operador a realizar mudança	WIP cumulativo	T_QCO(interno A->B) [seg]
1	PT1		1	12	12	1	MAT	1	12	21,3
2	PT2	PT1	1	2	2				14	0,0
3	PT3		1	1	1	1	MAT, Hw	1	14	32,7
4	PT7	PT2, PT3	1	2	2	2	Hw, Sw	1	16	65,2
5	PT0		2	4	4				16	0,0
6	PT8	PT0, PT7	1	1	1	1	Hw, Sw	1	17	20,8
7	PT4		2	1	1	1	MAT, Hw, Sw	2	14	261,6
8	PT5	PT4	3	1	1	1	MAT, Hw, Sw	3	15	144,5
9	PT6	PT5	4	2	2	2	MAT, Hw, Sw	4	17	170,7
10	PT3	PT6, PT8	4	1	1	1	Hw, Sw	4	18	31,6
11	PT10	PT3	4	2	2	2	Hw, Sw	4	20	51,7
12	PT11	PT10	4	1	1	1	Hw, Sw	4	21	30,7
13	PT12	PT11	5	1	1	1	MAT, Hw, Sw	5	22	108,9
14	PT13	PT12	5	1	1	1	Hw	5	23	43,0
15	PT14	PT13	5	24	24	1	Hw	5	47	38,6
16	PT15	PT14	5	2	2	1	Hw	5	49	35,4
17	PT16	PT15	6	2	2	2	MAT, Hw	6	51	151,5
18	PT17	PT16	6	1	1	1	MAT, Hw	6	52	70,2
19	PT18	PT17	7	1	1	1	Hw	7	53	21,6
20	PT19	PT18	7	1	1	1			54	0,0

Figura 31 – Atualização da informação relativamente ao processo de *changeover* nos campos assinalados

Assim que as colunas “WIP cumulativo” e “T_QCO” forem preenchidas automaticamente, assim como a coluna dos operadores atualizada de acordo com o operador com maior tempo de ciclo, deverá proceder-se ao preenchimento da seguinte coluna:

8. **Operador a realizar *changeover*** – Definir o responsável por realizar a mudança do posto, sendo apenas possível atribuir a mudança ao operador que foi alocado ao posto ou a um agente externo, como por exemplo, a versátil (V).

Inicialmente procede-se à atribuição das tarefas de *changeover* aos próprios operadores de cada posto. Assim, preenchida toda a informação necessária e considerando que a linha não possui bases WIP entre postos e que se encontram unidades em todos os postos, isto é, analisando o pior caso, o botão “Valor QCO” gerará um relatório de dados resultante da simulação dos instantes de entrada e saída de todas

as unidades do Produto A em todos os postos da linha, assim como das primeiras unidades do Produto B. Além disso, os eventos de *changeover* serão adicionados nos postos em que este processo é necessário, sendo indicado o responsável pela realização da operação, de acordo com o que foi definido previamente, bem como a estimativa dos instantes de início e fim da realização da mudança. Com base nos dados inseridos relativamente à linha em estudo e iniciando pela atribuição das tarefas de *changeover* aos próprios operadores de cada posto, é possível observar na Figura 32 o aspeto de um excerto do relatório de dados resultante da simulação.

PT1			PT2			PT3			PT7		
WIP	Entrada	Saida	WIP	Entrada	Saida	WIP	Entrada	Saida	WIP	Entrada	Saida
12,00	-971,3	88,3	14,0	-88,3	88,3	14,0	0,0	88,3	16,0	-88,3	88,3
QCO (Op.1)	88,3	109,6									
11,00	-883,0	197,9	13,0	21,3	197,9	13,0	88,3	197,9	15,0	21,3	197,9
10,00	-794,7	286,2	12,0	88,3	286,2	12,0	197,9	286,2	14,0	88,3	286,2
9,00	-706,4	374,5	11,0	197,9	374,5	11,0	286,2	374,5	13,0	197,9	374,5
8,00	-618,1	462,8	10,0	286,2	462,8	10,0	374,5	462,8	12,0	286,2	462,8
7,00	-529,8	551,1	9,0	374,5	551,1	9,0	462,8	551,1	11,0	374,5	551,1
6,00	-441,5	639,4	8,0	462,8	639,4	8,0	551,1	639,4	10,0	462,8	639,4
5,00	-353,2	727,7	7,0	551,1	727,7	7,0	639,4	727,7	9,0	551,1	727,7
4,00	-264,9	816,0	6,0	639,4	816,0	6,0	727,7	816,0	8,0	639,4	816,0
3,00	-176,6	904,3	5,0	727,7	904,3	5,0	816,0	904,3	7,0	727,7	904,3
2,00	-88,3	992,6	4,0	816,0	992,6	4,0	904,3	992,6	6,0	816,0	992,6
1,00	0,0	1080,9	3,0	904,3	1080,9	3,0	992,6	1080,9	5,0	904,3	1080,9
0,00	109,6	1169,2	2,0	992,6	1169,2	2,0	1080,9	1169,2	4,0	992,6	1169,2
-1,00	197,9	1257,5	1,0	1080,9	1257,5	1,0	1169,2	1257,5	3,0	1080,9	1257,5
						QCO (Op.1)	1257,5	1290,3			
-2,0	286,2	1378,6	0,0	1169,2	1378,6	0,0	1290,3	1378,6	2,0	1169,2	1378,6
-3,0	374,5	1710,4	-1,0	1257,5	1710,4	-1,0	1378,6	1710,4	1,0	1257,5	1710,4
									QCO (Op.1)	1710,4	1775,5
-4,0	462,8	1952,1	-2,0	1378,6	1952,1	-2,0	1710,4	1952,1	0,0	1775,5	1952,1

Figura 32 – Excerto do relatório de dados resultante da simulação inicial

O relatório de dados simula para cada posto o processamento de todas as unidades, encontrando-se estas designadas por um número que varia de forma decrescente, sendo os valores positivos referentes a unidades do Produto A e a partir do valor zero referentes a unidades do Produto B. Quando é realizado o evento de mudança num posto, é inserida a designação de “QCO” e, de seguida, o operador responsável por esta. A título de exemplo, anteriormente foi indicado que no posto PT1 das doze peças que se encontram a ser processadas em paralelo, apenas seria necessário esvaziar um dos equipamentos existentes para iniciar a mudança no posto. Uma vez que este posto apenas possuía doze unidades em WIP e que o responsável pela mudança do posto PT1 era o próprio operador (Operador 1), o *changeover* iniciou imediatamente após a saída da unidade número doze (88,3 segundos), demorando cerca de 21,3 segundos. No instante em que a mudança terminou (109,6 segundos), as condições necessárias para iniciar a produção do novo produto estavam prontas, tendo a primeira unidade do Produto B, designada pelo número zero, iniciado o seu processamento.

Uma vez realizada a simulação dos dados para todos os postos, o valor de perda associado ao *changeover*, isto é, o tempo que se espera perder ao realizar uma mudança na linha é calculado. Tal como foi descrito no capítulo anterior, concluiu-se que o valor de perda não deveria ser calculado tendo em conta apenas os instantes de saída da primeira peça do Produto B e da última do Produto A, devido aos fenómenos de desaceleração que se tornaram evidentes através da análise realizada. Deste modo, será necessário ter em conta as perdas existentes durante os períodos de desaceleração, pelo que o intervalo entre a última e a primeira peça não refletem a perda associada durante todo o processo de *changeover*.

Após várias observações chegou-se à conclusão de que a melhor forma de calcular a perda associada à realização de uma mudança na linha seria através da comparação da situação normal do processo produtivo, na qual não existem atividades de mudança, com a situação contendo atividades do processo de *changeover*. Deste modo, considerando que temos 54 unidades em WIP, é expectável que a duração prevista do atravessamento de todas as unidades ao longo da linha seja de cerca de 4768,2 segundos. Após a simulação, o instante previsto da saída das 54 peças da linha, considerando que as atividades de *changeover* foram realizadas ao longo do processamento destas unidades, é aos 6056,6 segundos. Isto significa que a última unidade demora mais 1252 segundos, ou seja, aproximadamente 20 minutos e 52 segundos, sendo este considerado o tempo de perda associado à realização da mudança. Assim, ao clicar no botão “Valor QCO”, a simulação será realizada e o valor de perda de mudança será apresentado tal como se encontra ilustrado na Figura 33.

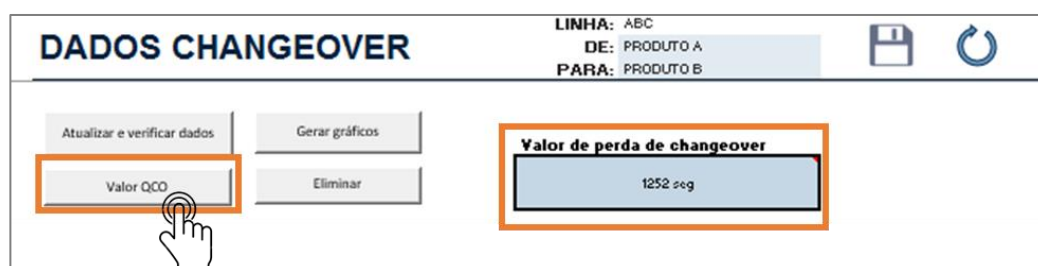


Figura 33 – Apresentação do valor de perda de *changeover* de uma combinação após a simulação

Posteriormente, clicando no símbolo “Guardar”, a matriz de *changeover* é gerada numa nova folha a partir dos valores de simulação gerados anteriormente (Figura 34).

The screenshot shows the same "DADOS CHANGEOVER" interface, but the "Guardar" (save) icon is highlighted with a hand cursor. A green arrow points from this interface to a new table titled "MATRIZ DE CHANGEOVER".

MATRIZ DE CHANGEOVER				
PARA FAMÍLIA →				
	PART DESCRIPTION	CÓDIGO	1	2
← DE FAMÍLIA	PRODUTO A	1	N.A.	1252 seg
	PRODUTO B	2	1252 seg	N.A.

Figura 34 – Apresentação da matriz de *changeover*

Além disso, um diagrama de *Gantt* será produzido, no qual é possível observar o atravessamento da última unidade do Produto A e da primeira unidade B ao longo de todos os postos da linha. bem como a representação dos momentos em que ocorrem as tarefas de *changeover* de acordo com os responsáveis correspondentes (Figura 35). Além disso, será possível observar os momentos em que um determinado posto se encontra parado após a realização da mudança, estando à espera de que a primeira unidade do Produto B termine o seu processamento no posto precedente.

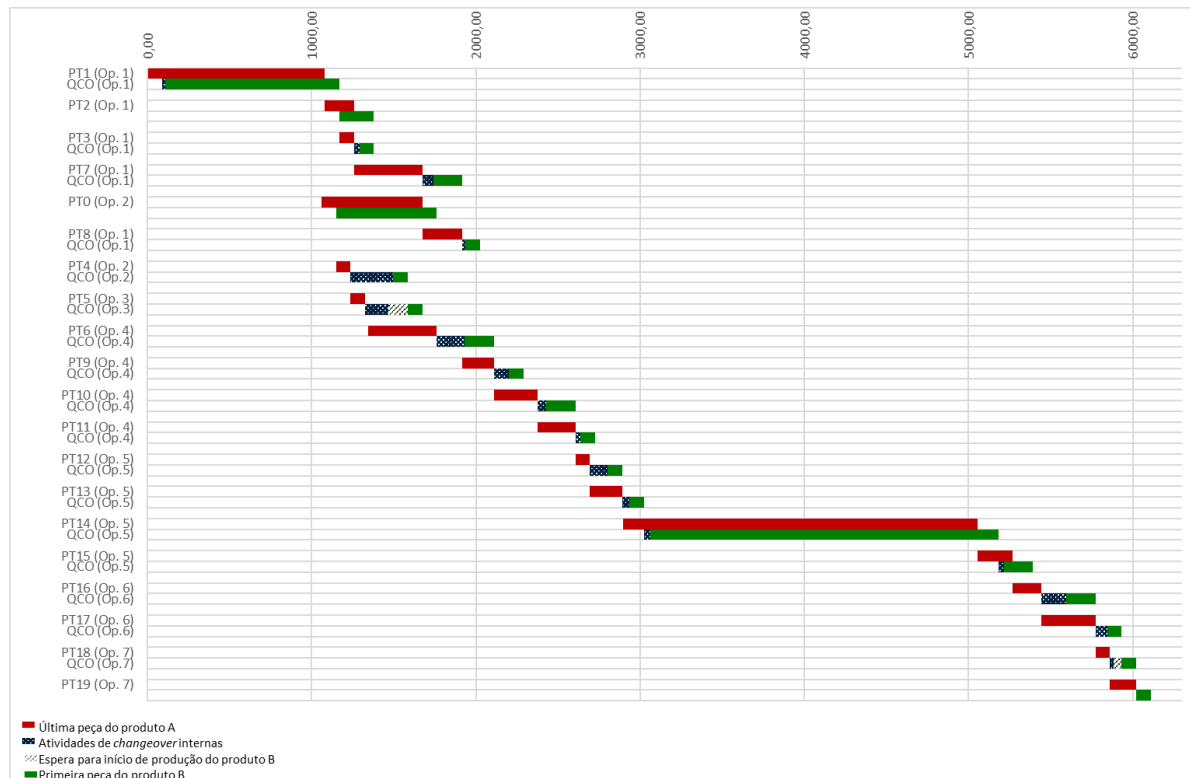


Figura 35 – Diagrama de *Gantt* do processo de *changeover*

Por último, um gráfico será também gerado no qual para cada posto será apresentado o tempo de ciclo de cada operador que foi alocado ao posto, assim como o impacto que as atividades de mudança terão no seu tempo de ciclo e, conseqüentemente, no tempo de ciclo do posto. Assim, se um agente externo à linha realizar operações de *changeover* internas num posto, é expectável que o impacto seja inferior à duração total das mesmas, uma vez que este terá oportunidade de executar as tarefas mais cedo em comparação com o próprio operador do posto. A Figura 36 demonstra o gráfico de balanceamento resultante com base na informação inserida relativamente à situação inicial, no qual é possível observar quais os postos cujo *changeover* causa um impacto maior no tempo de ciclo de cada posto. Desta forma, será esperado que o gráfico se encontre o mais balanceado possível para que seja obtido o menor valor de perda associado à mudança da linha.

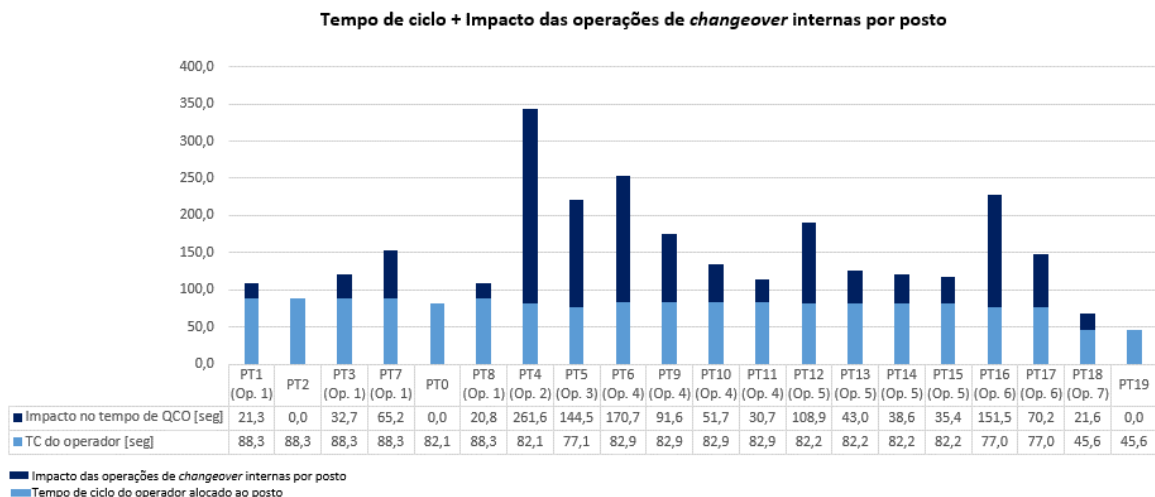


Figura 36 – Tempo de ciclo e impacto das operações internas de *changeover* por posto

5.2.1 Premissas estabelecidas para o modelo de simulação

De modo a realizar a simulação para a obtenção de toda a informação, foram estabelecidas algumas premissas para a construção do modelo de simulação, encontrando-se de seguida uma breve descrição de cada uma.

Premissa 1

Sendo o operador o responsável por transportar as unidades de um posto para o seguinte, assumir-se-á que o tempo de ciclo de cada posto corresponderá ao dos operadores que lá operam, uma vez que o fabrico de unidades se encontra dependente dos mesmos. Assim, se o tempo de ciclo de um operador for igual a 88,3 segundos, significa que se um posto tiver a capacidade de processar apenas uma unidade, será expectável que saia uma peça a cada 88,3 segundos. Por sua vez, se o mesmo posto for capaz de processar várias unidades em paralelo, o tempo de ciclo de cada um dos equipamentos será igual ao produto entre o número de equipamentos e o tempo de ciclo do operador. No entanto, assumir-se-á que o tempo de ciclo do posto, considerando-o como um conjunto de equipamentos, será igual ao tempo de ciclo do operador. Por exemplo, se um posto possuir dois equipamentos capazes de produzir duas unidades em simultâneo, espera-se que cada um dos equipamentos debite uma peça a cada 176,6 segundos, estando os mesmos desfasados pelo tempo de ciclo do operador. Assim, considerar-se-á que o posto será capaz de libertar uma unidade a cada 88,3 segundos.

Premissa 2

Apesar de existir um balanceamento das atividades de processamento na linha, os tempos de ciclo dos operadores são diferentes entre si, havendo sempre um operador com o tempo de ciclo superior aos restantes, sendo considerado o operador *bottleneck* da linha, ou seja, o operador mais lento. Assim, nos

casos em que os operadores partilham alguns postos, isto é, necessitam de executar operações de processamento no mesmo posto, apenas o operador com o maior tempo de ciclo ficará alocado ao posto aquando da atualização e verificação dos dados da tabela presente na Figura 31, considerando-se como se fosse o único operador do posto.

Além disso, uma vez que o operador mais lento é quem determina o ritmo da linha e apesar de existirem operadores com tempos de ciclos menores e, portanto, mais rápidos, assumir-se-á que estes irão operar ao ritmo do operador *bottleneck*. Deste modo, espera-se que uma unidade esteja pronta a cada tempo de ciclo do operador mais lento. Posto isto, em situação normal do processo de fabrico e não havendo nenhuma atividade de *changeover*, será considerado que, estando a linha na sua capacidade máxima, com um total de 54 unidades em WIP, e que o operador *bottleneck* possui um tempo de ciclo igual a 88,3 segundos, é esperado que a cada 88,3 segundos seja produzida uma unidade da linha. Portanto, será considerado que o tempo que todas as peças demorarão a serem produzidas na linha será igual a $54 \times 88,3 = 4768,2$ segundos, representando também este valor também o tempo que a última unidade do Produto A demorará a percorrer toda a linha desde o início do processo produtivo.

Premissa 3

Assumindo que ao fim de cada ciclo de um operador saem as peças mais antigas que se encontravam em processamento em todos os postos nos quais ele opera durante o seu ciclo de trabalho, o que o relatório de dados gerado após a simulação representará será uma aproximação aos instantes de entrada e saída das peças. Isto porque para determinar o momento exato em que as peças entrariam e sairiam de cada posto seria necessário analisar o trabalho *standard* do operador em detalhe, pelo que se optou por assumir que no pior cenário, todas as peças avançariam para o posto seguinte no mesmo momento. A figura abaixo pretende representar o que acontece no ciclo real do operador e o que será considerado na simulação dos instantes de entrada e saída das peças em cada posto.

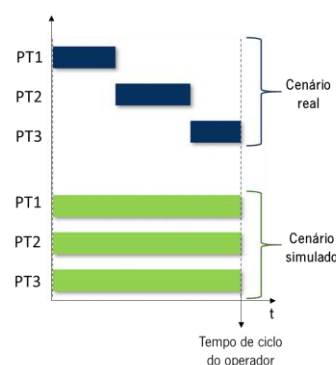


Figura 37 – Ilustração da “Premissa 3”

Caso os postos necessitem de alguma operação de mudança, os eventos de *changeover* serão adicionados gradualmente a cada um dos postos, conforme a sequência do processo produtivo. De modo a evitar que os operadores se encontrem inativos durante o processo de mudança da linha, será assumido que os operadores realizam os seus ciclos de trabalho normalmente e quando todas as unidades do Produto A tiverem sido produzidas no primeiro posto da sua área de atuação, deverá ser efetuada a mudança desse posto. No entanto, após a mudança do posto o operador iniciará o processamento da primeira unidade do Produto B, continuando a processar as restantes unidades do produto antigo que se encontram nos postos seguintes.

Assim, será considerado que os operadores serão capazes de operar simultaneamente com dois tipos de produtos diferentes, pelo que a partir do momento em que o operador inicia a mudança em algum dos seus postos, o seu ritmo passará a ser determinado pelo produto que possui maior tempo de ciclo definido no trabalho *standard* do processo produtivo. Esta premissa foi assumida pelo facto de numa linha serem fabricados produtos cujos processos são idênticos e, portanto, à partida terão a mesma sequência produtiva.

Premissa 4

No caso de um posto necessitar de realizar algum tipo de operação de mudança, o algoritmo analisará das últimas unidades do Produto A que tem para processar, após qual unidade poderá realizar o processo de *changeover*. Posteriormente, irá verificar quem será responsável pela realização da troca do posto, com base nos dados inseridos na tabela. Se o responsável pela troca de um posto for o próprio operador, o algoritmo considerará que o operador inicia a mudança imediatamente após ter terminado o ciclo no qual processou a última unidade do Produto A. Consequentemente, os instantes de saída das peças do tipo A que estão a ser processadas nos postos seguintes sofrerão um atraso devido à realização das atividades de *changeover* no posto pelo próprio operador, que terá de interromper o seu ciclo normal de processamento de unidades. Após ter sido realizada a mudança no posto, o operador inicia imediatamente um novo ciclo de produção, no qual inicia o fabrico de unidades do Produto B, tal como representado na Figura 38.

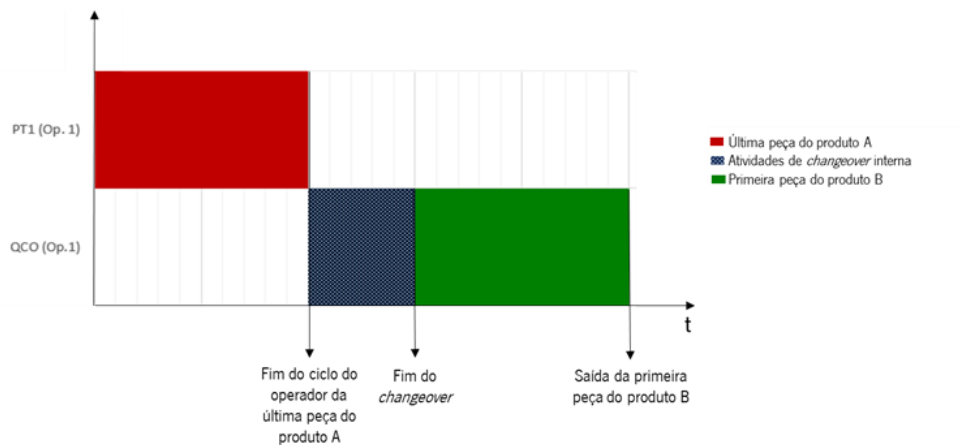


Figura 38 – Ilustração da “Premissa 4” no caso de o operador realizar a mudança no posto

Contudo, se a mudança for atribuída a um agente externo à linha, como por exemplo à versátil, o algoritmo irá analisar as seguintes possibilidades:

- a) Se o tempo total de *changeover* do posto for inferior ao tempo de ciclo do operador *bottleneck* da linha, será assumido que a mudança desse mesmo posto poderá ser realizada por uma pessoa externa ao processo não tendo qualquer impacto na cadência da linha. A mudança iniciará enquanto o operador realiza o seu ciclo, sendo considerado que no pior cenário a mudança terminará exatamente no instante em que o ciclo da última unidade termina. Deste modo, os operadores realizarão os seus ciclos de trabalho normalmente não havendo qualquer interrupção ou atraso nos mesmos. De seguida, o ciclo de produção referente à primeira peça do Produto B iniciará logo após ter terminado o ciclo respeitante à última unidade do Produto A.
- b) No caso de o tempo total de *changeover* do posto ser superior ao tempo de ciclo do operador *bottleneck*, o operador do posto terá de aguardar que o agente externo termine a mudança para que seja possível iniciar o fabrico do novo produto nesse posto. O tempo que o operador terá de esperar será igual à diferença entre o tempo de *setup* do posto e o tempo de ciclo do operador *bottleneck*. Assim, será considerado que a mudança iniciará simultaneamente com o último ciclo do operador da última unidade do Produto A. Consequentemente, o operador terá de aguardar que o agente externo termine a mudança no posto, pelo que esta espera atrasará o ciclo do operador bem como a saída das peças dos restantes postos no qual o operador realiza atividades de processamento.

A Figura 39 ilustra as premissas assumidas anteriormente para o caso das possibilidades a) e b).

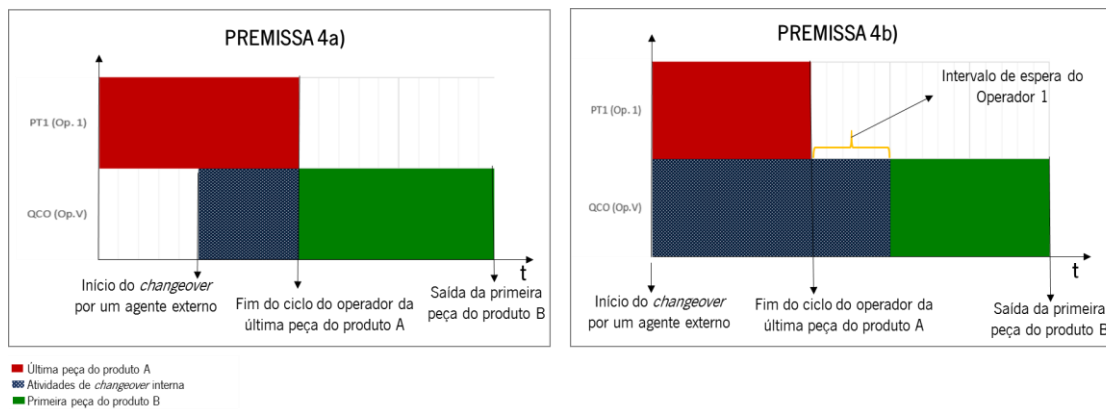


Figura 39 – Ilustração das premissas 4a) e 4b)

Premissa 5

Ao realizar a mudança de um posto, devem ser realizadas o máximo de operações externas, ou seja, executar atividades enquanto este se encontra em funcionamento. Uma vez que estas não interferem no tempo em que o posto se encontra parado no momento da realização da mudança, apenas as operações internas serão consideradas na simulação. Assim, assumir-se-á que qualquer atividade que seja classificada como externa, deverá ser realizada por agentes externos à linha, como por exemplo, a versátil, não tendo qualquer influência no tempo de paragem dos equipamentos. Assim, no momento da descrição das operações de *changeover*, sempre que se proceder à classificação destas como operações externas, estas não serão contabilizadas durante a simulação e, consequentemente, não interferirão no tempo de perda de *changeover*.

Além disso, para os postos que possuem mais que um equipamento e nos quais é possível iniciar a produção do novo produto realizando a mudança apenas de um deles, na simulação será apenas considerado o tempo de mudança de um dos equipamentos. Assim sendo, o algoritmo assumirá que os restantes serão realizados externamente, não influenciando mais uma vez o tempo de perda associado à mudança da linha.

5.2.2 Simulação de cenários

Tendo em conta todas as premissas assumidas anteriormente para a simulação do valor de perda de *changeover*, foi possível verificar que, iniciando pela situação inicial e pela atribuição das operações internas aos operadores que o algoritmo aloca a cada um dos postos, a simulação do primeiro cenário resultou num valor de perda de *changeover* da mudança do Produto A para o Produto B de aproximadamente 20 minutos e 52 segundos. De seguida foi realizada uma simulação do cenário 2, no qual foram atribuídas algumas mudanças à versátil da linha, tendo em conta os responsáveis pela realização de cada atividade de *changeover* registados aquando do estudo efetuado na linha e que se

encontra presente no Anexo II. Através da alteração do responsável pelo *changeover* em cada posto e após clicar no botão “Valor QCO”, o resultado obtido encontra-se presente na Figura 40, tendo o valor de perda de *changeover* sido igual a 1037 segundos, o que equivale a aproximadamente 17 minutos e 17 segundos.

DADOS CHANGEOVER

LINHA: ABC

DE: PRODUTO A

PARA: PRODUTO B

Atualizar e verificar dados

Gerar gráficos

Valor QCO

Eliminar

Valor de perda de changeover

1037 seg

N	Posto	Precedências	Operadores	Pecas por máquina	WIP por posto	Quantas pecas necessita evacuar?	Tipo <i>changeover</i>	Operador a realizar mudança	WIP cumulativo	T_QCO(interno A->B) [seg]
1	PT1		1	12	12	1	MAT	V	12	21,3
2	PT2	PT1	1	2	2	1			14	0,0
3	PT3		1	1	1	1	MAT, Hw	1	14	32,7
4	PT7	PT2,PT3	1	2	2	2	Hw, S'w	1	16	65,2
5	PT0		2	4	4				16	0,0
6	PT8	PT0,PT7	1	1	1	1	Hw, S'w	1	17	20,8
7	PT4		2	1	1	1	MAT, Hw, S'w	V	14	261,6
8	PT5	PT4	3	1	1	1	MAT, Hw, S'w	3	15	144,5
9	PT6	PT5	4	2	2	2	MAT, Hw, S'w	V	17	170,7
10	PT9	PT6, PT8	4	1	1	1	Hw, S'w	4	18	31,6
11	PT10	PT9	4	2	2	2	Hw, S'w	4	20	51,7
12	PT11	PT10	4	1	1	1	Hw, S'w	4	21	30,7
13	PT12	PT11	5	1	1	1	MAT, Hw, S'w	5	22	108,9
14	PT13	PT12	5	1	1	1	Hw	5	23	43,0
15	PT14	PT13	5	24	24	1	Hw	V	47	38,6
16	PT15	PT14	5	2	2	1	Hw	V	49	35,4
17	PT16	PT15	6	2	2	2	MAT, Hw	6	51	151,5
18	PT17	PT16	6	1	1	1	MAT, Hw	6	52	70,2
19	PT18	PT17	7	1	1	1	Hw	7	53	21,6
20	PT19	PT18	7	1	1	1			54	0,0

Figura 40 – Resultado do valor de perda de *changeover* obtido após simulação do cenário 2

Através da comparação do valor de perda de *changeover* obtido do estudo realizado na linha (14 minutos e 43 segundos), referido na secção 4.3.3.3, com o valor gerado pelo algoritmo, pode-se concluir que existe um ligeiro desfasamento de aproximadamente 2 minutos e 34 segundos. O gráfico gerado com a distribuição das tarefas pelos operadores definida no Anexo II encontra-se representado na seguinte abaixo.

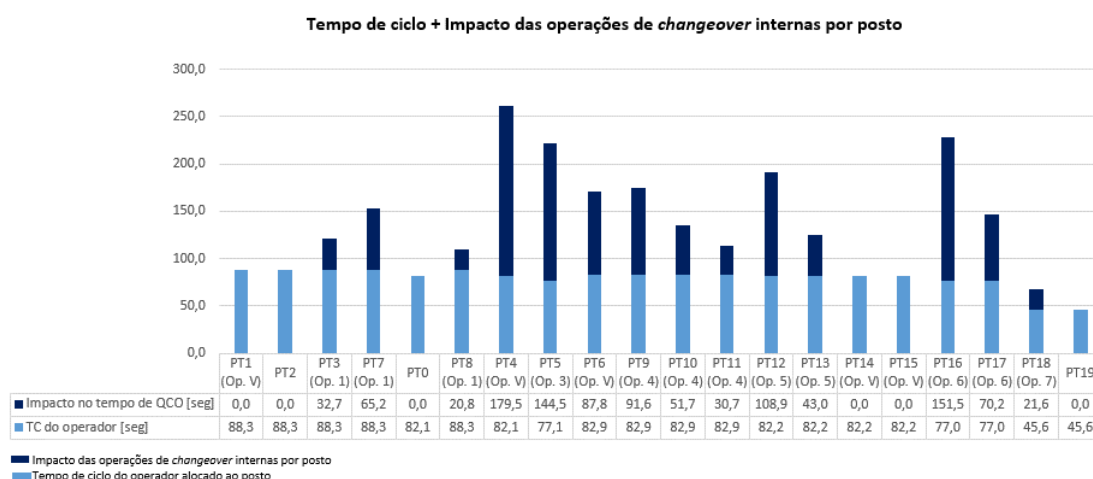


Figura 41 – Gráfico de balanceamento obtido na simulação do cenário 2

Como é possível observar, através do gráfico acima, a alocação da versátil a alguns dos postos fez com que a realização de algumas das atividades de mudança gerasse um impacto nulo na troca da linha, tal

como aconteceu nos postos PT1, PT14 e PT15. Isto significa que ao alocar a versátil à mudança destes postos, os operadores não sofrem qualquer interferência nos seus ciclos de trabalho devido à realização de mudanças nos postos mencionados. No entanto, verifica-se a existência de postos nos quais as operações internas de *changeover* geram um grande impacto no tempo de ciclo do posto sendo, portanto, necessário balancear ao máximo as atividades de *changeover* pelos postos, de forma a que se traduza num menor valor de perda associada à mudança da linha.

Assim, tendo em conta as melhorias mencionadas na secção 5.1, foi simulado um terceiro cenário de modo a observar o impacto que estas teriam no valor de perda de *changeover*. Atribuindo as tarefas de mudança aos operadores alocados a cada posto e excluindo a versátil da realização de operações internas obteve-se um valor de 1036 segundos. Comparando com o cenário inicial, no qual também apenas os operadores realizavam as operações internas de cada posto, o valor obtido foi de 1252 segundos. Deste modo, considerando todas as propostas de melhoria mencionadas anteriormente, o valor simulado apresentou uma redução de cerca de 17,2%. Com a simulação do cenário 3 foi gerado o gráfico de balanceamento estando este presente na Figura 42.

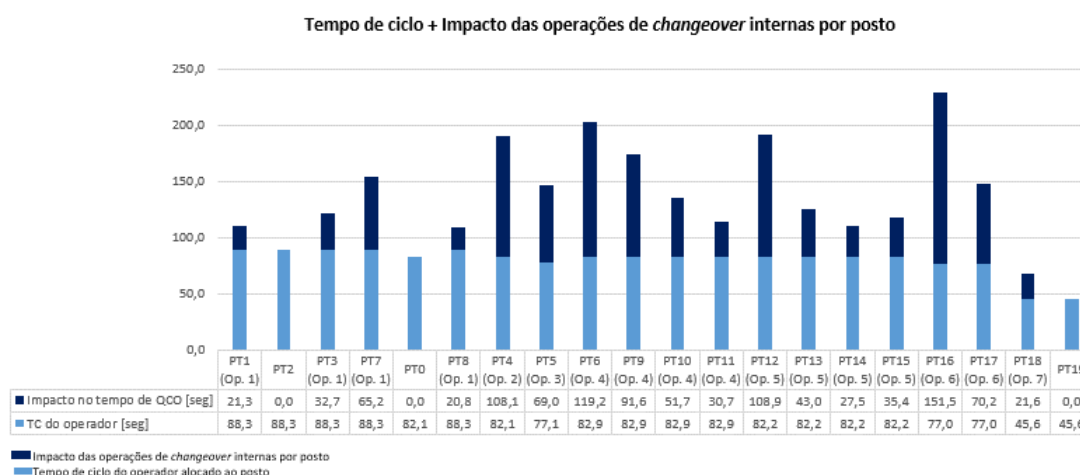


Figura 42 – Gráfico de balanceamento obtido na simulação do cenário 3

Com base no gráfico anterior é possível verificar que, os postos PT4, PT6, PT9, PT12 e PT16 são os que possuem o maior impacto no valor de perda de mudança da linha. Portanto, considerando as melhorias propostas, ainda existe a necessidade de balancear as atividades de mudança por todos os postos, de modo a reduzir o impacto das operações de *changeover* internas na perda associada à mudança da linha. Para tal, a versátil será alocada a alguns postos, pois tal como mencionado nas premissas assumidas para o modelo de simulação, esta terá oportunidade de iniciar a mudança antes de o operador concluir o seu ciclo de trabalho, terminando assim a troca do posto mais cedo do que fosse o operador a realizá-la.

Assim, tendo como base a proposta 5 referida na secção 5.1, na qual foi mencionado que seria essencial fixar a versátil na realização da mudança de todas as células do posto PT14, esta será definida como sendo a responsável por realizar a mudança do mesmo, não sendo possível alocá-la a mais nenhum posto a partir do PT14. No entanto, para efeitos da simulação e tendo em conta a premissa 5, apenas será considerado a mudança de apenas uma base do PT14 como sendo realizada como operação de *changeover* interna. Para além deste posto, optar-se-á por alocar a versátil aos seguintes postos: PT4, PT6, PT9 e PT12.

Ainda assim, uma vez que o posto PT16 possui um grande impacto na perda da mudança e que exige a mudança de material e *hardware*, demorando cerca de 55 segundos e 97 segundos, respetivamente, assumir-se-á que a versátil poderá auxiliar apenas na mudança de material, sendo assim esta considerada como uma operação externa. Desta forma, a simulação será realizada tendo em conta apenas a duração da mudança de hardware do posto PT16.

No Anexo III encontra-se representado para cada tarefa de *changeover* o responsável pela realização da mesma, com base na distribuição de tarefas descrita anteriormente. Após a simulação do cenário 4 obteve-se o valor de 697 segundos, tal como se encontra ilustrado na Figura 43.

DADOS CHANGEOVER

LINHA: ABC

DE: PRODUTO A

PARA: PRODUTO B

Atualizar e verificar dados

Gerar gráficos

Valor QCO

Eliminar

Valor de perda de changeover

697 seg

N	Posto	Precedências	Operadores	Piças por máquina	WIP por posto	Quantas peças necessita esvaziar?	Tipo <i>changeover</i>	Operador a realizar mudança	WIP cumulativo	T_QCO(interno A->B) [seg]
1	PT1		1	12	12	1	MAT	1	12	21,3
2	PT2	PT1	1	2	2	1			14	0,0
3	PT3		1	1	1	1	MAT, Hw	1	14	32,7
4	PT7	PT2, PT3	1	2	2	2	Hw, S/w	1	16	65,2
5	PT0		2	4	4				16	0,0
6	PT8	PT0, PT7	1	1	1	1	Hw, S/w	1	17	20,8
7	PT4		2	1	1	1	MAT, Hw, S/w	V	14	108,1
8	PT5	PT4	3	1	1	1	MAT, Hw, S/w	3	15	69,0
9	PT6	PT5	4	2	2	2	MAT, Hw, S/w	V	17	119,2
10	PT9	PT6, PT8	4	1	1	1	Hw, S/w	V	18	31,6
11	PT10	PT9	4	2	2	2	Hw, S/w	4	20	51,7
12	PT11	PT10	4	1	1	1	Hw, S/w	4	21	30,7
13	PT12	PT11	5	1	1	1	MAT, Hw, S/w	V	22	108,9
14	PT13	PT12	5	1	1	1	Hw	5	23	43,0
15	PT14	PT13	5	24	24	1	Hw	V	47	27,5
16	PT15	PT14	5	2	2	1	Hw	5	49	35,4
17	PT16	PT15	6	2	2	2	Hw	6	51	36,7
18	PT17	PT16	6	1	1	1	MAT, Hw	6	52	70,2
19	PT18	PT17	7	1	1	1	Hw	7	53	21,6
20	PT19	PT18	7	1	1	1			54	0,0

Figura 43 - Resultado do valor de perda de *changeover* obtido após simulação do cenário 4

Através da observação do gráfico da Figura 44 gerado após a simulação do cenário 4, é possível verificar que o impacto das operações de mudança internas dos postos se encontra mais equilibrado. Apesar de se ter colocado a versátil a auxiliar na mudança do posto PT16, este continua a ser o posto com maior

5.3 Criação do *standard* para realização da mudança de produção

Na secção 2.3.3 foi mencionado que o trabalho *standard* tem um papel fundamental como suporte na melhoria contínua, sendo este considerado a base para a obtenção de melhorias nos processos. Um dos problemas referido na secção 4.3.3.2 encontrava-se relacionado com a inexistência de um *standard* para as atividades de mudança da produção, que documentasse a melhor forma de executar todo o processo de *changeover* de forma a que este fosse realizado sempre do mesmo modo. Assim, após terem sido propostas algumas melhorias no processo e realizado o estudo de qual a melhor distribuição das tarefas pelos operadores, torna-se essencial a criação de um documento que contenha os procedimentos necessários para a realização da mudança do Produto A para o Produto B, bem como a definição dos responsáveis pela execução de cada uma das tarefas.

Uma vez realizada a simulação para vários cenários e tendo em conta o último cenário, o qual apresenta o menor tempo de perda de *changeover*, torna-se então necessário a criação de um documento *standard* no qual esteja documentado que atividades de mudança deve realizar cada um dos operadores da linha, devendo constar todo o tipo de atividades, quer sejam internas e externas.

Assim, foi criado um *standard* estando este presente no Anexo IV, no qual é possível encontrar a descrição das operações de *changeover*, estando cada uma classificada de acordo com o tipo de operação (interna ou externa), sendo indicado o responsável pela sua execução bem como uma estimativa da sua duração. Com a implementação deste *standard* na linha é esperado que se obtenha um menor valor de perda de *changeover*, estando ainda os responsáveis por cada tarefa definidos. Desta forma, a existência de um *standard* que documente a melhor forma de executar todo o processo de *changeover* sempre da mesmo modo, permitirá tornar o processo mais organizado, no qual os operadores não correrão o risco de repetir operações de mudança já efetuadas nem se esquecerem da realização de alguma tarefa. Portanto, é expectável que o processo de mudança não seja tão demorado, aumentando assim a eficiência da linha.

6 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados que podem ser obtidos com a implementação das propostas de melhoria apresentadas no capítulo anterior, sendo apresentados, sempre que possível, os ganhos estimados que estas representam.

6.1 Redução dos tempos de inatividade dos postos durante o processo de *changeover*

As operações de *changeover* internas representam tempos não produtivos uma vez que para a execução das mesmas os equipamentos necessitam de estar inativos. Assim, torna-se essencial proceder à redução da duração deste tipo de operações para que a disponibilidade dos equipamentos aumente.

Através da aplicação do estágio 2 da metodologia SMED, o qual consiste na conversão das operações internas em externas, é possível aumentar a disponibilidade dos equipamentos durante a mudança, pois através da conversão de algumas tarefas para externas, a duração das operações internas diminui. Deste modo, as propostas 1, 2 e 3 apresentadas na secção 5.1, enquadradas na aplicação do estágio 2 da metodologia SMED, permitem assim obter uma diminuição da duração das atividades de mudança internas, uma vez que algumas tarefas passam a ser executadas com os postos em funcionamento. Portanto, a análise de cada proposta será realizada tendo em consideração a redução obtida na duração das atividades internas de *changeover*.

No posto PT4, a troca de um dispensador com três tipos de material era realizada em cerca de 201 segundos, dos quais 165 segundos correspondiam a operações internas, sendo realizadas quando o posto se encontrava parado. Com a proposta de conversão de algumas tarefas internas para externas na realização desta mudança de material, o tempo total de operações internas para efetuar esta troca passaria a ser realizada em apenas 12 segundos. Na Tabela 8 é possível observar a redução estimada da duração das atividades internas de *changeover* que se espera obter através da implementação da proposta 1.

Tabela 8 – Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 1

Proposta	Duração estimada das operações internas [(seg)]		Redução (%)
	Antes	Depois	
Proposta 1	165	12	92,7%

De igual modo, a realização da substituição de um rolo no dispensador de etiquetas no posto PT6 demorava aproximadamente 64 segundos, sendo todas as atividades realizadas internamente, ou seja,

com o posto parado. No entanto, com a implementação da proposta 2, na qual foi sugerida a colocação de um dispensador de etiquetas suplente, espera-se que esta troca seja realizada somente em 12 segundos, devido à possibilidade de se realizar a pré-preparação do dispensador com o rolo pertencente ao novo produto que vai entrar em produção enquanto o posto se encontra em funcionamento. A Tabela 9 apresenta a redução do tempo total de operações internas obtida com a implementação desta proposta.

Tabela 9 - Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 2

Duração estimada das operações internas [(seg)]			
Proposta	Antes	Depois	Redução (%)
Proposta 2	64	12	81,3%

Adicionalmente, no posto PT5, a realização da troca de material existente em três caixas demorava aproximadamente 96 segundos, sendo toda esta mudança realizada como operação interna. Através da implementação da proposta 3, na qual a pré-preparação e a arrumação dos materiais passariam a ser realizadas como atividades externas, o tempo total de operações internas reduziria para cerca de 20 segundos, correspondendo a uma redução de 79%, tal como consta na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 3

Duração estimada das operações internas [(seg)]			
Proposta	Antes	Depois	Redução (%)
Proposta 3	96	20	79,1%

Por sua vez, uma outra técnica enquadrada na metodologia SMED, nomeadamente no estágio 3, encontrava-se relacionada com a otimização de todos os processos de mudança. Desta forma, a proposta 4 sugere que seja realizada uma alteração nos parafusos existentes em 24 bases do posto PT14, de modo a que o mecanismo de fixação das mesmas nos equipamentos seja rápido. Apesar desta alteração carecer de uma avaliação, a sua implementação resultaria numa redução de aproximadamente 11 segundos na substituição de cada uma das bases (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultados obtidos através da conversão de operações internas em externas da proposta 4

Duração estimada das operações internas [(seg)]			
Proposta	Antes	Depois	Redução (%)
Proposta 4	39	28	28,2%

Por último, a melhoria da proposta 5, encontra-se relacionada com a realização de atividades de *changeover* em paralelo com as restantes mudanças dos outros postos. Assim, através da fixação da operadora versátil na mudança do posto PT14, as 24 bases deste posto serão trocadas paralelamente às restantes tarefas de *changeover*, que vão surgindo ao longo do processo de mudança, assim como às operações que os operadores têm de efetuar durante os seus ciclos de trabalho.

Apesar de não ser possível obter uma estimativa do ganho obtido através da aplicação da proposta 5, devido à impossibilidade de prever o tempo que se consegue ganhar com a alocação da versátil na mudança das 24 bases do posto PT14, a implementação de mecanismos de fixação rápidos reduziria a ocupação da operadora em 28% (Tabela 11). Assim, tendo em consideração que o tempo de mudança de uma base passaria de 39 segundos para 28, a ocupação total da versátil para a troca de todas as bases diminuiria de 936 segundos para aproximadamente 672 segundos.

O gráfico da Figura 46 demonstra a distribuição das operações internas e externas de toda a linha, tendo em consideração as propostas de melhoria anteriormente mencionadas, sendo que, tal como referido na secção 4.3.2, para os postos PT14 e PT15, apenas está representado o tempo de mudança de um só equipamento, visto ser apenas necessário realizar a troca de um deles para iniciar a produção de um novo produto.



Figura 46 – Distribuição das operações de *changeover* internas e externas com as propostas de melhoria

Como se pode observar, ao invés da situação inicial da distribuição das operações internas e externas (ver Figura 21), verifica-se que com as melhorias sugeridas, a proporção de operações externas aumentou no posto PT4, passando também os postos PT5 e PT6 a realizar atividades de mudança externamente. Além disso, é possível observar ainda uma ligeira diminuição da duração das atividades de *changeover* internas no posto PT14.

Na Tabela 12 encontra-se representado o impacto da aplicação das melhorias referidas anteriormente na duração total das atividades de *changeover* internas representadas no gráfico anterior, sendo possível observar que a sua implementação resultaria numa redução de cerca de 21,4%.

Tabela 12 – Impacto das propostas de melhoria na duração total das operações internas de *changeover*

Duração total das operações internas		
Antes	Depois	Redução (%)
22 minutos e 40 segundos	17 min e 48 segundos	21,4%

6.2 Modelo de simulação para obtenção da matriz de *changeover*

Com a criação do algoritmo em *Visual Basic*, que se encontra explicado na secção 5.2, é possível obter uma estimativa do valor de perda associado à realização da mudança de um produto para o outro, de acordo com definição dos responsáveis pela realização das tarefas de *changeover* em cada posto. Além disso, é possível analisar o impacto que a atribuição de tarefas de mudança a agentes externos tem no valor de perda de mudança da linha.

De acordo com o estudo realizado para o cálculo da perda de *changeover* da linha, referido na secção 4.3.3.3, obteve-se um valor aproximadamente igual a 883 segundos, ou seja, 14 minutos e 43 segundos. Tendo em conta as tarefas descritas na situação inicial que se encontram presentes no Anexo II, assim como os responsáveis pela realização de cada atividade de *changeover* registados aquando do estudo efetuado na linha, foi utilizada a aplicação para a simulação da perda associada à mudança nas mesmas condições (cenário 2). O valor simulado obtido foi igual a 17 minutos e 17 segundos, sendo possível observar na Tabela 13 a comparação dos valores obtidos com o estudo realizado e com o que foi gerado no algoritmo.

Tabela 13 – Resultados obtidos relativamente à perda de *changeover* da situação inicial

Valor de perda associado ao <i>changeover</i> da situação inicial		
Estudo realizado	Simulação do cenário 2	Diferença
14 minutos e 43 segundos	17 min e 17 segundos	2 min e 34 segundos

Tal como se pode observar, existe um desfasamento de aproximadamente 2 minutos e 34 segundos, sendo o valor gerado pelo algoritmo superior ao que foi observado na realidade, correspondendo a uma diferença de 17,4%. No entanto, esta diferença poderá ser explicada devido a várias razões, podendo uma delas estar relacionada com o ritmo dos operadores. O facto de os operadores da linha terem

realizado as suas atividades a um ritmo superior, isto é, demorando menos que os tempos estimados para a sua realização, poderá ter resultado num valor de perda inferior quando comparado com o valor gerado pelo algoritmo. Além disso, é necessário considerar que algumas premissas assumidas no algoritmo analisam os piores cenários, podendo não corresponder totalmente ao que foi realizado na linha, obtendo-se assim um valor de perda superior ao observado na realidade.

Utilizando o algoritmo para obtenção dos valores de perda, foram então simulados os cenários representados na Tabela 14, tendo sido gerados os resultados apresentados.

Tabela 14 – Resultados obtidos com a simulação de vários cenários

Cenário	Descrição	Valor de perda de <i>changeover</i>
1	Situação inicial do <i>changeover</i> . Operações internas realizadas pelos operadores do posto.	20 minutos e 52 segundos
3	Situação do <i>changeover</i> com as propostas de melhoria. Operações internas realizadas pelos operadores do posto.	17 minutos e 16 segundos
4	Situação do <i>changeover</i> com as propostas de melhoria. Operações internas realizadas pelos operadores do posto e com o auxílio da versátil.	11 minutos e 37 segundos

Através da simulação do cenário 1, com base na situação inicial do *changeover*, foram atribuídas as operações internas aos operadores que o algoritmo alocou a cada um dos postos, tendo sido obtido um valor de perda associado à mudança do Produto A para o Produto B de, aproximadamente, 20 minutos e 52 segundos. Realizando a simulação do cenário 3, no qual os operadores a efetuar a mudança de cada um dos postos se manteve, mas considerando as melhorias que foram propostas anteriormente, o algoritmo gerou um valor de 1036 segundos, o que equivale a 17 minutos e 16 segundos. Assim, com a aplicação das melhorias propostas, estima-se que estas reduzam o tempo de perda de mudança da linha em cerca de 3 minutos e 36 segundos, correspondendo a uma redução de 17,2%.

Numa fase seguinte, e tendo em atenção os postos que causavam maior impacto na perda de *changeover* da linha, através do gráfico de balanceamento, foram atribuídas algumas operações de mudança internas à versátil, tendo o cenário 4 resultado num valor de perda igual a 697 segundos, ou seja, 11 minutos e 37 segundos. Portanto, a alocação da versátil na realização de algumas operações internas permitiu reduzir o valor de perda em 32,7%, quando comparado com o cenário 3.

Assumindo que o panorama observado no estudo realizado na linha corresponde à situação inicial do *changeover*, realizando a mesma análise entre os cenários 2 e 4, no qual este último corresponde ao

cenário resultante com as propostas de melhorias, é possível observar na Tabela 15, a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 15 – Comparação dos resultados obtidos nos cenários 2 e 4

Valor de perda associado ao <i>changeover</i>		
Simulação do cenário 2	Simulação do cenário 4	Redução (%)
17 minutos e 17 segundos	11 minutos e 37 segundos	32,8%

Como é possível verificar, estima-se que com a aplicação das melhorias e realizando a mudança dos postos com base na distribuição dos operadores definida no cenário 4, seja possível reduzir o valor de perda de *changeover* da linha em cerca de 5 minutos e 40 segundos, correspondendo a uma diminuição de 32,8%.

Assim, uma vez que com a comparação destes dois últimos cenários se prevê que o valor de perda da mudança diminua, também o tempo disponível para a produção aumentará, reduzindo-se assim perdas de produção de unidades. Assumindo que a disponibilidade da linha aumenta em 5 minutos e 40 segundos (340 segundos) por cada mudança realizada e que na linha em estudo estas ocorrem pelo menos 8 vezes por mês, estima-se que seja possível reduzir aproximadamente 2720 segundos em tempos de perda de *changeover*. Uma vez que o tempo de ciclo da linha é de 88,3 segundos, estima-se que seja possível aumentar a produção mensal em 30 unidades.

Uma vez obtido o cenário que representa um menor valor de perda de mudança da linha (cenário 4), de acordo com a distribuição das tarefas pelos operadores definida, foi possível obter a matriz de *changeover* para a linha em estudo, estando esta representada na Figura 45, do capítulo anterior. Os valores presentes na matriz são iguais quer para a mudança do Produto A para o Produto B e vice-versa, estando representado um valor teórico do tempo de perda associado à realização da mudança de 697 segundos (11 minutos e 37 segundos).

A matriz de *changeover* permitirá assim verificar quais as combinações de mudança que se traduzem numa maior perda de produção, podendo ser analisada a melhor sequência de produção de lotes dos diferentes tipos de produtos de uma linha no momento do planeamento da produção. Neste caso, a matriz apenas indicará o valor de perda que está associado à realização da mudança, uma vez que na linha em estudo apenas são fabricados dois produtos e as duas combinações de mudança apresentam o mesmo valor. No entanto, nas linhas em que são fabricados mais que dois produtos, a obtenção da matriz será essencial para a otimização do sequenciamento dos lotes de produção.

6.3 *Standard* para o processo de mudança

Com a criação de um documento que contenha todos os passos necessários para a realização da mudança da linha de um produto para o outro, assim como a definição dos responsáveis pela realização de cada tarefa espera-se que, após a implementação do *standard*, presente no Anexo IV, na linha em estudo, o processo de *changeover* se torne mais organizado, em que cada operador saiba exatamente o que tem de realizar. Assim, com a implementação de um *standard* que defina o melhor modo de executar todo o processo de *changeover* da linha para que este seja efetuado da mesma forma, prevê-se também que o processo de mudança ocorra de forma fluida, reduzindo a duração do mesmo e aumentando assim a disponibilidade da linha para produção.

7 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas com a realização deste projeto de dissertação, sendo também apresentadas algumas limitações do trabalho realizado e sugestões de trabalho futuro.

7.1 Contribuições do trabalho realizado

A presente dissertação foi desenvolvida tendo como objetivo a melhoria do processo de *changeover* de uma linha de montagem final. Os principais objetivos focaram-se na otimização do tempo despendido entre a mudança de produtos, o balanceamento das atividades de mudança entre os operadores, a obtenção da matriz de *changeover* com a perda associada a cada combinação de mudança entre produtos e a definição de procedimentos *standard* para as atividades de mudança de produção.

Começou-se por realizar uma revisão de literatura sobre o tema, de forma a realizar um levantamento das principais ferramentas *Lean* que poderiam ser aplicadas neste contexto e assim procurar implementar ações de melhoria baseadas nas mesmas. A metodologia SMED foi a que mais se destacou durante a realização deste projeto, uma vez que um dos principais objetivos se prendia com a redução dos tempos de *changeover*. Tendo ainda como objetivo a obtenção da matriz de *changeover*, utilizou-se a simulação como auxílio, para obter o valor teórico de perda associado à realização de mudança na linha para cada combinação de produtos. Uma outra ferramenta utilizada foi o *standard work* com o intuito de documentar um procedimento padrão para cada combinação de mudança, para que a mudança da linha fosse realizada seguindo sempre o mesmo método que tornasse o processo mais organizado e eficiente.

Enquadrado no estágio preliminar da metodologia SMED, foram realizadas várias filmagens do processo de mudança na linha, de modo a proceder à descrição do estado atual e à cronometragem de tempos. A recolha de dados foi efetuada em várias linhas com atividades de *changeover* semelhantes, de modo a obter rapidamente um maior número de observações, visto as trocas na linha em estudo serem realizadas apenas 8 vezes por mês.

De modo a cumprir os objetivos definidos inicialmente, a aplicação dos vários estágios da metodologia SMED permitiu otimizar o tempo despendido nas atividades de mudança entre os produtos, reduzindo os tempos de inatividade dos postos. Assim, procedeu-se à conversão de operações internas em operações externas, de modo a que o máximo de atividades fossem executadas com os equipamentos em funcionamento. Além disso, visto que a linha em estudo era constituída por um operador externo à

linha, a versátil, esta desempenharia um papel fundamental na realização de tarefas de mudança, uma vez que tendo a disponibilidade para prestar auxílio no processo de *changeover*, seria possível alocá-la à realização de tarefas de mudança, simultaneamente com os restantes operadores da linha. Assim, através da execução de operações em paralelo, o impacto da mudança seria menor, resultando numa menor perda de *changeover*.

Adicionalmente, foram propostas algumas melhorias com o objetivo de otimizar os tempos internos das operações de mudança, como por exemplo, através da aplicação de mecanismos de fixação rápidos das ferramentas num dos postos que continha 24 bases, nas quais era necessário desapertar manualmente dois parafusos. Apesar de esta proposta necessitar de ser avaliada, devido ao investimento necessário para realizar a alteração em todas as bases, a sua possível implementação resultaria numa redução do tempo total de troca das mesmas em cerca de 28%.

Com a possível implementação de todas as propostas de melhoria mencionadas, estima-se que a duração total das operações internas de *changeover* diminuiria de 22 minutos e 40 segundos para 17 minutos e 48 segundos, correspondendo a uma redução de aproximadamente 21,4%.

Com o intuito de obter a matriz de *changeover* iniciou-se pela realização de um estudo na linha com o objetivo de verificar a existência do fenómeno dos períodos de desaceleração e de aceleração, aspetos não considerados na metodologia de Shingo, e proceder à medição da perda associada à realização do *changeover* na linha. Concluiu-se que o valor de perda associado à mudança obtido através do estudo efetuado se encontrava muito distante da forma como a perda de *changeover* estava a ser calculada pelo sistema. Isto porque o sistema apenas considerava o tempo em que não havia saída de unidades entre a saída da última peça antiga e da primeira peça nova. No entanto, as perdas existentes antes da saída da última peça do lote antigo eram notáveis, pelo que estas deveriam ser também contempladas no tempo total de perda de *changeover*.

Assim, tornou-se necessário criar uma forma de chegar aos valores de perda de mudança para cada combinação de produtos de forma ágil e que permitisse estender rapidamente a existência da matriz de *changeover* para as restantes linhas da fábrica. Desta forma, foi desenvolvido um algoritmo em *Visual Basic*, que permitiu obter uma estimativa do valor teórico de perda associada à realização da mudança de um produto para o outro, de acordo com a definição dos responsáveis pela realização das tarefas de *changeover* em cada posto. Com a simulação de alguns cenários foi possível observar o impacto da alocação da versátil à realização de algumas operações internas de mudança. Por exemplo, considerando o cenário contendo as propostas de melhorias, o facto de serem os operadores a realizar todas as

operações internas ou de possuir a versátil alocada na execução de algumas dessas tarefas em paralelo, poderá reduzir o valor de perda de mudança da linha em cerca de 32,7%.

Assumindo ainda que o panorama observado no estudo para o cálculo da perda de mudança da linha correspondia à situação inicial do *changeover*, estima-se que, comparando com a situação resultante da implementação de todas as propostas de melhoria, o valor de perda de mudança da linha simulado seja reduzido de 17 minutos e 17 segundos para 11 minutos e 37 segundos, o que equivale a uma redução de 32,8% (menos 5 minutos e 40 segundos).

Portanto, o algoritmo permite a simulação de diversos cenários, podendo ser analisado aquele que representa o menor valor de perda de mudança, de uma forma rápida e ágil. Além disso, permite analisar rapidamente o impacto de implementação de melhorias no processo de *changeover*, não interferindo no funcionamento da linha para testar as alterações. Porém, apesar de todas estas vantagens é importante ressaltar que, sendo um modelo de simulação, este não fornece a solução ótima, sendo necessário analisar o comportamento dos resultados gerados após a alteração de vários fatores.

Além disso, os resultados obtidos através da simulação podem apresentar erros, uma vez que se desconhece até que ponto representa a realidade do processo. Contudo, comparando o valor obtido no estudo realizado para o cálculo da perda de *changeover* da linha, no qual se obteve um valor aproximadamente igual a 883 segundos, ou seja, 14 minutos e 43 segundos, com a simulação do mesmo cenário no algoritmo, o valor resultante foi igual a 17 minutos e 17 segundos. Apesar do valor obtido na simulação ter sido superior em cerca de 17,4%, esta diferença pode ser explicada devido ao ritmo dos operadores, pelo que se pode considerar que o valor simulado se encontra próximo do valor obtido na realidade.

Assim, com a construção do algoritmo foi possível obter a matriz de *changeover* contendo um valor teórico do tempo de perda associado à realização da troca de produção entre cada produto da linha. Deste modo, esta informação permitirá verificar quais as combinações de mudança que se traduzem numa maior perda de produção, podendo ser analisada a melhor sequência de produção de lotes dos diferentes tipos de produtos de uma linha no momento do planeamento da produção. Na linha em estudo a matriz obtida é simples, possuindo apenas duas combinações de mudança (do Produto A para Produto B e vice-versa) para as quais o valor teórico de perda é igual a 697 segundos, ou seja, 11 minutos e 37 segundos.

Adicionalmente, a criação do *standard* com base no cenário que possuía o menor valor de perda de mudança, permitiu documentar todo o processo de *setup*, esperando-se que a sua implementação

resulte num processo de mudança organizado, simples e eficaz, no qual cada operador tenha as suas tarefas bem definidas, permitindo assim a realização da mudança da linha de forma fluida.

Assim, comparando os valores resultantes da simulação do cenário observado aquando da realização do estudo na linha, com o cenário contendo as melhorias propostas, prevê-se que o valor de perda da mudança diminua cerca de 5 minutos e 40 segundos. Assumindo que a linha realiza mudanças de produção pelo menos 8 vezes por mês, a linha teria uma oportunidade de produção mensal adicional de aproximadamente 30 unidades.

Conclui-se, assim, que a implementação de pequenas melhorias baseadas nas várias ferramentas pertencentes à filosofia *Lean Production* pode melhorar significativamente o processo de mudança, tendo a aplicação de outras ferramentas como auxílio, como o caso da simulação, sido essencial neste projeto.

Em suma, todos os objetivos traçados no início do projeto foram cumpridos. Porém, apesar de algumas dificuldades existentes durante o desenvolvimento do modelo de simulação de modo a que possuísse um comportamento o mais próximo da realidade, foi com base na criação de algumas premissas em colaboração com toda a equipa, que se alcançou os objetivos definidos inicialmente e obter assim o algoritmo que permite gerar os valores para a matriz de *changeover*.

7.2 Limitações do trabalho realizado

A realização deste projeto apresentou algumas limitações, encontrando-se uma delas relacionada com o facto de a linha em estudo não realizar, por vezes, mudanças com frequência. Assim, a obtenção dos valores dos tempos de *changeover* de cada posto era dependente da regularidade com que a linha em estudo mudava a produção do Produto A para o Produto B, ou vice-versa. Para colmatar esta dificuldade tornou-se necessário proceder à recolha de dados noutras linhas, cujos processos de mudança eram semelhantes, de modo obter rapidamente um maior número de observações para estimar a duração das atividades.

Uma outra limitação que decorreu durante este projeto de dissertação foi a ocorrência de avarias em alguns dos postos da linha durante o evento de *changeover*, dificultando a obtenção do valor real da perda de mudança. Isto porque, quando ocorria uma avaria num dos postos, os operadores realizavam o máximo de operações possíveis, quer de processamento quer de mudança, enquanto os técnicos procediam à resolução da avaria. Logo, a ocorrência de avarias durante uma mudança da linha causava perturbações nos ciclos dos operadores, pelo que o valor real de perda associado ao *changeover* não

refletiria um valor correspondente a um evento normal de mudança, sem qualquer tipo de irregularidades.

A última limitação encontra-se interligada com a anterior, uma vez que para proceder à validação dos valores simulados para a perda de *changeover* através do algoritmo, seria essencial proceder à comparação dos mesmos com os valores obtidos na realidade. Todavia, seria necessário ocorrer um número considerável de mudanças, nas quais o processo decorresse de forma fluida e sem qualquer interrupção ou irregularidade, para possibilitar a comparação dos valores teóricos com os obtidos na realidade.

7.3 Trabalho futuro

Após o trabalho desenvolvido neste projeto, os passos seguintes passariam pela implementação de algumas das melhorias propostas, bem como do *standard* da mudança na linha em análise, pelo que seria necessário assistir a algumas mudanças para proceder à sua validação e verificar se a perda de *changeover* associada ao mesmo se encontrava dentro do objetivo previsto. Posteriormente, dever-se-ia agir de acordo com os resultados obtidos, procedendo-se ao aprimoramento dos resultados já obtidos ou, em caso de oportunidades de melhoria, à implementação de novas ações, procedendo-se à alteração do *standard*.

Além disso, tendo em conta que os valores para a perda da mudança obtidos através do algoritmo têm em consideração o fenómeno de desaceleração da linha, a partir do momento em que esta inicia o *changover*, verificou-se que estes se encontram muito distantes dos dados retirados pelo sistema existente na fábrica. Uma vez que a realização do estudo para a obtenção do valor de perda da linha exigiu uma análise demorada, torna-se assim necessário pensar numa forma de obter estes valores baseados em acontecimentos reais, de modo a possibilitar a monitorização e a observação da evolução da perda de *changeover* real das linhas, assim como comparar com o valor teórico gerado pelo algoritmo.

Por último, apesar desta proposta já ter sido mencionada na fábrica, seria essencial a utilização do sistema de tempos pré-determinados, designado de *Methods-Time Measurement* (MTM), para a obtenção de tempos padrão associados à execução das tarefas de *changeover* de cada posto com base em tempos pré-determinados tabelados. Tendo em conta o modo como o estudo dos tempos foi realizado neste projeto, a aplicação do MTM permitiria prever os tempos das operações sem a necessidade de assistir às mudanças na linha, reduzindo também a subjetividade dos valores obtidos, uma vez que seriam utilizados tempos tabelados e padronizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Ahuja, I. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), 709–756.
- Benjamin, S. J., Murugaiah, U., & Marathamuthu, M. S. (2013). The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(5), 792–807.
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations and Production Management*, 34(7), 876–940.
- Bosch. (2015). *Manual de Acolhimento*. Bosch Car Multimédia Portugal, S.A.
- Bosch. (2019a). *Bosch Car Multimédia Portugal S.A.*
- Bosch. (2019b). O Grupo Bosch no mundo. Obtido 12 de Abril de 2019, de <https://www.bosch.pt/a-nossa-empresa/o-grupo-bosch-no-mundo/>
- Cakmakci, M. (2009). Process improvement: Performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(1–2), 168–179.
- Cakmakci, M., & Karasu, M. K. (2007). Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33, 334–344.
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*, 95(1), 71–94.
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240.
- Feld, W. M. (2001). *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How To Use Them*. Boca Raton, FL : St. Lucie Press ; Alexandria, VA : APICS.
- Ferradás, P. G., & Salonitis, K. (2013). Improving changeover time: a tailored SMED approach for welding cells. *Procedia CIRP*, 7, 598–603.
- Goubergen, D. Van, & Landeghem, H. Van. (2002). Reducing Set-up Times of Manufacturing Lines.
- Harris, C., & Harris, R. (2008). *Lean Connections: Making Information Flow Efficiently and Effectively*. New York: Productivity Press.
- Imai, M. (1986). *Kaizen - The Key to Japan's Competitive Success*. New York: McGraw-Hill.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*.


McGraw-Hill.

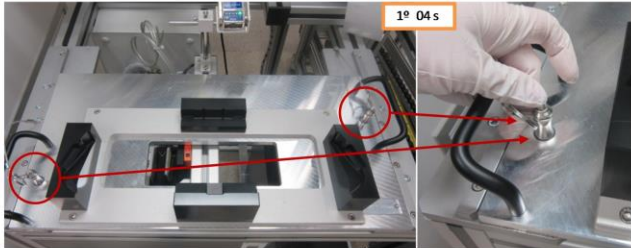
- Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 31(1), 41–52.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Lintilä, J., & Takala, J. (2013). Reducing time losses in operational actions of a food production lines. *Management and Production Engineering Review*, 4(1), 39–49.
- McIntosh, Culley, S., Gest, G., Mileham, T., & Owen, G. (1996). An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(9), 5–22.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2001). *Improving Changeover Performance*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Melo, D., Andrade, I. H. De, & Brito, J. (2016). Aplicação do MTM-UAS como ferramenta melhoria de processo, estudo de caso em uma indústria de autopeças.
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(A6), 662–673.
- Missbauer, H. (1997). Order release and sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Economics*, 49(2), 131–143.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Portland, OR: Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York: CRC Press.
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089.
- Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. (C. Press, Ed.). Boca Raton.
- Pinto, J. P. (2013). *Manutenção Lean*. Edições Lidel.
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras* (6.ª ed.). Lisboa: Edições Lidel.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students* (Fifth edit). Pearson Education.

- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge: Productivity Press.
- Sugai, M., McIntosh, R. I., & Novaski, O. (2007). Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. *Gestão & Produção*, 14(2), 323–335.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564.
- Uriarte, A. G., Moris, M. U., Ng, A. H. C., & Oscarsson, J. (2015). Lean, simulation and optimization: A win-win combination. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*.
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon & Schuster.
- Womack, J., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production. World*. New York: Rawson Associates.

ANEXO I – EXEMPLO DE UMA SINGLE POINT LESSON (SPL)


SPL (Single Point Lesson)		Conhecimento básico		SPL Nº	Tempo (Seg)	
		Melhoria		14	Op. Int.: 36	
		X	Instrução de Mudança		Op. Ext.: N.A.	
				Op. Interna	Op. Externa	
		Problema		Linha:	Pág. 1/1	
Tema	Mudança de Bases no Posto	Criado por:		Aprovado por:		data próxima revisão
		Data de criação:		Data de revisão:		
		Responsável	Manutenção	Tipo Equipamento:		
		X	Produção	Index: 01		


Entre Produto: (1) ↔ (2)




1º 04 s

1. Retirar 2x Pin Locks da base.




2º 02 s

2. Retirar base do posto.




3º 08 s

3. Arrumar a base no devido local de acondicionamento.



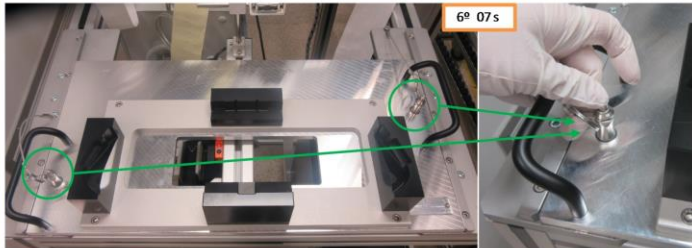
4º 08 s

4. Pegar na nova base.




5º 07 s

5. Encaixar a nova base no posto.



6º 07 s

6. Colocar 2x Pin Locks na nova base para bloqueá-la.



ANEXO II – FOLHA DE ESTUDO DOS TEMPOS DAS OPERAÇÕES DE *CHANGEOVER* DA SITUAÇÃO INICIAL

Nr	POSTO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES DE <i>CHANGEOVER</i>	TIPO DE <i>CHANGEOVER</i>	MEDIÇÕES (Seg)										ESTIMATIVAS			TEMPO ESTIMADO	FATOR	DURAÇÃO TOTAL	TIPO DE OPERAÇÃO	RESPONSÁVEL
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROVÁVEL (m)	OTIMISTA (a)	PESSIMISTA (b)					
1	N.A.	Pegar e levar carrinho das bases para o início da linha	N.A.	18,88	27,69	22,86	16,80	25,51	20,54	23,35	22,83	22,76	21,27	22,25	16,80	27,69	22,2	1	22,2	Ext.	Versátil
2	PT1	Devolver material PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	23,86	18,76	19,56	23,45	25,75	17,34	23,43	19,63	22,87	17,78	21,24	17,34	25,75	21,3	1	21,3	Int.	Versátil
3	PT3	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	8,63	12,41	8,95	10,34	11,32	8,26	10,87	11,45	9,56	10,23	10,20	8,26	12,41	10,2	1	10,2	Int.	Op.1
4	PT3	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	10,41	9,76	9,61	10,07	8,56	7,75	10,34	9,85	7,82	8,76	9,29	7,75	10,41	9,2	1	9,2	Int.	Op.1
5	PT3	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	9,36	15,40	22,46	10,19	13,41	9,76	8,45	12,34	10,80	9,50	12,17	8,45	22,46	13,3	1	13,3	Int.	Op.1
6	PT4	Retirar o dispensador do PRODUTO A, trocar pelo novo dispensador e colocar o material do PRODUTO B	MAT	193,29	219,10	165,62	137,50	115,73	189,18	160,85	124,32	133,90	204,84	164,43	115,73	219,10	165,4	1	165,4	Int.	Versátil
7	PT4	Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	32,99	41,10	35,50	49,24	39,57	36,32	48,74	37,90	38,54	39,67	39,96	32,99	49,24	40,3	1	40,3	Int.	Versátil
8	PT4	Clicar em "STOP"	SW	3,75	4,43	5,98	3,58	4,43	3,51	4,72	5,23	4,19	3,56	4,34	3,51	5,98	4,5	1	4,5	Int.	Versátil
9	PT4	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base no suporte por trás do teclado	HW	26,48	28,96	32,73	27,32	24,56	26,13	25,63	24,74	25,39	34,98	27,69	24,56	34,98	28,4	1	28,4	Int.	Versátil
10	PT4	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	7,89	12,33	7,14	10,44	13,87	9,21	10,23	9,77	8,54	9,16	9,86	7,14	13,87	10,1	1	10,1	Int.	Versátil
11	PT4	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto e <i>part number</i> + Clicar em "OK"	SW	14,40	9,74	16,23	12,76	12,46	14,21	12,98	10,32	13,45	12,42	12,90	9,74	16,23	12,9	1	12,9	Int.	Versátil
12	PT4	Retirar o material do PRODUTO A do dispensador, devolvendo-o e arrumar o dispensador no respectivo local de acondicionamento	MAT	40,33	34,26	37,82	39,28	32,54	36,12	38,91	37,11	32,56	31,23	36,02	31,23	40,33	35,9	1	35,9	Ext.	Versátil
13	PT5	Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	93,63	100,68	86,34	89,43	97,34	103,78	96,23	98,24	101,35	94,21	96,12	86,34	103,78	95,8	1	95,8	Int.	Op.3
14	PT5	Clicar em "STOP"	SW	7,41	4,82	3,15	3,72	5,23	5,50	6,14	4,91	3,65	5,32	4,99	3,15	7,41	5,1	1	5,1	Int.	Op.3
15	PT5	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	17,01	11,94	16,21	19,39	15,42	18,54	14,45	15,78	18,34	14,60	16,17	11,94	19,39	16,0	1	16,0	Int.	Op.3
16	PT5	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	21,53	17,77	19,45	18,54	22,93	19,45	18,73	25,78	23,41	29,30	21,69	17,77	29,30	22,3	1	22,3	Int.	Op.3
17	PT5	Clicar em "START"	SW	7,92	6,57	4,26	3,95	3,23	5,87	5,92	4,68	3,93	5,68	5,20	3,23	7,92	5,3	1	5,3	Int.	Op.3
18	PT6	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	23,45	29,87	24,76	30,81	27,65	29,97	25,21	29,54	23,41	30,76	27,54	23,41	30,81	27,4	1	27,4	Int.	Versátil
19	PT6	Clicar em "STOP"	SW	3,44	7,95	4,23	3,10	3,98	5,21	5,20	3,90	4,68	5,21	4,69	3,10	7,95	5,0	1	5,0	Int.	Versátil
20	PT6	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	18,25	12,70	13,18	10,97	9,86	14,64	10,41	12,45	13,52	10,34	12,63	9,86	18,25	13,1	2	26,2	Int.	Versátil
21	PT6	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	24,18	31,39	12,70	12,47	15,40	18,24	24,52	17,42	18,56	21,35	19,62	12,47	31,39	20,4	2	40,8	Int.	Versátil
22	PT6	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	SW	6,15	7,61	8,59	9,76	8,32	7,64	6,12	8,91	7,54	8,72	7,94	6,12	9,76	7,9	1	7,9	Int.	Versátil
23	PT6	Trocar o rolo de etiquetas do PRODUTO A pelo do PRODUTO B	MAT	58,95	61,23	65,25	70,76	61,84	59,25	62,45	63,98	59,21	63,84	62,68	58,95	70,76	63,4	1	63,4	Int.	Versátil
24	PT7	Clicar em "STOP"	SW	5,43	4,34	5,89	3,85	4,56	5,23	5,08	4,82	3,90	4,20	4,73	3,85	5,89	4,8	1	4,8	Int.	Op.1
25	PT7	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	12,08	13,15	14,22	15,29	14,36	13,43	14,50	13,57	12,64	12,71	13,60	12,08	15,29	13,6	2	27,2	Int.	Op.1
26	PT7	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	11,54	13,92	12,78	13,21	13,33	14,03	12,54	12,08	13,15	14,36	13,09	11,54	14,36	13,0	2	26,0	Int.	Op.1
27	PT7	Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	SW	5,34	8,39	6,35	7,62	7,21	5,98	9,57	6,32	7,46	4,95	6,92	4,95	9,57	7,0	1	7,0	Int.	Op.1
28	PT8	Clicar em "Mudar Ferramenta"	SW	3,12	4,56	5,23	5,08	4,82	3,15	3,72	5,26	4,23	3,98	4,32	3,12	5,26	4,3	1	4,3	Int.	Op.1
29	PT8	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	4,54	4,59	5,64	6,69	3,74	5,79	4,84	5,89	3,94	4,07	4,97	3,74	6,69	5,1	1	5,1	Int.	Op.1
30	PT8	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	5,85	6,83	6,97	6,92	6,93	4,63	7,24	6,70	7,95	6,35	6,64	4,63	7,95	6,5	1	6,5	Int.	Op.1
31	PT8	Clicar em "START"	SW	5,20	4,33	5,63	4,74	3,91	3,05	6,23	6,77	4,86	5,12	4,98	3,05	6,77	5,0	1	5,0	Int.	Op.1
32	PT9	Clicar em "Mudar ferramenta"	SW	8,76	5,45	5,98	4,43	4,51	4,72	5,23	4,19	3,56	7,24	5,41	3,56	8,76	5,7	1	5,7	Int.	Op.4
33	PT9	Retirar base superior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	16,95	29,88	17,82	23,64	28,42	24,52	25,56	19,65	23,52	21,42	23,14	16,95	29,88	23,2	1	23,2	Int.	Op.4

34	PT9	Pegar na base superior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	22,75	29,50	20,91	26,43	21,46	25,43	26,87	23,76	21,34	24,12	24,26	20,91	29,50	24,6	1	24,6	Int.	Op.4
35	PT9	Retirar base inferior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	11,24	19,02	19,46	29,12	21,53	22,45	24,49	21,78	22,31	19,30	21,07	11,24	29,12	20,8	1	20,8	Int.	Op.4
36	PT9	Pegar na base inferior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	9,22	13,71	10,92	10,03	11,94	8,45	9,34	14,23	12,61	13,83	11,43	8,45	14,23	11,4	1	11,4	Int.	Op.4
37	PT9	Clicar em "START"	SW	4,14	9,52	6,05	5,51	4,27	5,52	4,94	4,53	3,98	7,23	5,57	3,98	9,52	6,0	1	6,0	Int.	Op.4
38	PT10	Clicar em "STOP"	SW	3,15	3,72	5,26	4,34	5,89	3,85	4,31	3,95	4,87	3,96	4,33	3,15	5,89	4,4	1	4,4	Int.	Op.4
39	PT10	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	10,42	6,78	10,26	9,93	10,45	13,21	11,65	8,35	9,86	7,75	9,87	6,78	13,21	9,9	2	19,8	Int.	Op.4
40	PT10	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	13,22	12,20	10,48	11,31	9,12	12,86	8,98	10,45	9,65	11,84	11,01	8,98	13,22	11,0	2	22,0	Int.	Op.4
41	PT10	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	SW	4,82	4,47	6,98	5,23	4,35	4,06	6,43	4,52	6,12	5,97	5,30	4,06	6,98	5,4	1	5,4	Int.	Op.4
42	PT11	Clicar em "STOP"	SW	4,43	4,79	5,54	5,37	6,48	5,51	6,34	4,78	4,04	3,10	5,04	3,10	6,48	5,0	1	5,0	Int.	Op.4
43	PT11	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	10,98	9,56	7,93	12,85	11,73	12,52	9,65	13,52	12,41	13,21	11,44	7,93	13,52	11,2	1	11,2	Int.	Op.4
44	PT11	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	9,87	7,09	11,77	8,36	10,98	12,53	8,62	9,23	12,23	10,31	10,10	7,09	12,53	10,0	1	10,0	Int.	Op.4
45	PT11	Clicar em "START"	SW	5,72	4,43	3,20	4,95	5,42	4,89	4,65	5,21	3,96	3,45	4,59	3,20	5,72	4,5	1	4,5	Int.	Op.4
46	PT12	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	8,53	9,40	12,84	13,74	12,63	9,72	8,31	10,24	12,54	13,63	11,16	8,31	13,74	11,1	1	11,1	Int.	Op.5
47	PT12	Clicar em "Mudar Ferramenta"	SW	7,48	4,87	5,35	5,63	8,74	3,91	5,05	6,23	6,77	4,76	5,88	3,91	8,74	6,0	1	6,0	Int.	Op.5
48	PT12	Retirar base superior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	23,11	25,81	19,92	25,78	24,27	28,59	24,70	30,51	27,56	26,34	25,66	19,92	30,51	25,5	1	25,5	Int.	Op.5
49	PT12	Pegar na base superior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	34,46	37,88	38,54	43,85	38,56	42,87	47,98	44,23	43,73	39,34	41,14	34,46	47,98	41,2	1	41,2	Int.	Op.5
50	PT12	Retirar base inferior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	14,64	13,44	10,26	8,38	15,67	11,58	11,28	16,45	13,25	13,86	12,88	8,38	16,45	12,7	1	12,7	Int.	Op.5
51	PT12	Pegar na base inferior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	7,14	5,62	8,26	5,40	7,81	7,45	6,87	6,23	7,98	7,63	7,04	5,40	8,26	7,0	1	7,0	Int.	Op.5
52	PT12	Clicar em "START"	SW	7,20	5,47	6,63	6,72	5,50	4,46	5,42	4,89	3,20	4,95	5,44	3,20	7,20	5,4	1	5,4	Int.	Op.5
53	N.A.	Buscar os dois carrinhos com bases dos postos PT13, PT14, PT15, PT16, PT17 e PT18	N.A.	59,90	62,30	58,78	52,30	68,78	62,30	49,78	62,30	58,23	50,25	58,49	49,78	68,78	58,8	1	58,8	Ext.	Versátil
54	PT13	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	20,31	19,23	19,36	24,72	21,48	21,34	19,88	20,34	17,65	18,12	20,24	17,65	24,72	20,6	1	20,6	Int.	Op.5
55	PT13	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	23,46	20,93	19,21	25,01	20,84	25,74	18,42	19,60	26,98	22,10	22,23	18,42	26,98	22,4	1	22,4	Int.	Op.5
56	PT14	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	17,50	12,90	18,56	12,56	14,84	19,04	16,14	21,87	19,60	12,83	16,58	12,56	21,87	16,8	1	16,8	Int.	Versátil
57	PT14	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	19,83	20,49	21,90	18,79	24,38	25,47	18,93	20,47	23,35	22,14	21,58	18,79	25,47	21,8	1	21,8	Int.	Versátil
58	PT14	Repetir o mesmo procedimento para as restantes 23 bases	HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,6	23	887,8	Ext.	Versátil
59	PT15	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	14,70	16,55	25,96	13,25	24,13	14,36	15,09	9,36	17,56	23,45	17,44	9,36	25,96	17,5	1	17,5	Int.	Versátil
60	PT15	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	24,37	19,04	13,29	9,93	15,81	10,40	17,26	14,79	28,18	19,23	17,23	9,93	28,18	17,8	1	17,8	Int.	Versátil
61	PT15	Repetir o mesmo procedimento para a outra bancada	HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,3	1	35,2	Ext.	Versátil
62	PT16	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	52,12	57,91	59,85	51,95	58,35	54,21	58,60	48,32	56,45	53,29	55,11	48,32	59,85	54,8	1	54,8	Int.	Op.6
63	PT16	Retirar a base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	29,05	21,12	26,10	22,35	21,19	25,67	24,62	21,75	24,96	28,24	24,51	21,12	29,05	24,7	2	49,4	Int.	Op.6
64	PT16	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	21,70	25,38	26,65	22,74	25,81	20,58	28,20	23,34	20,45	19,87	23,47	19,87	28,20	23,7	2	47,4	Int.	Op.6
65	PT17	Retirar os rolos de etiquetas do PRODUTO A e colocar os rolos de etiquetas do PRODUTO B	MAT	29,65	24,89	32,16	33,14	27,59	25,34	27,55	24,64	26,45	31,82	28,32	24,64	33,14	28,5	1	28,5	Int.	Op.6
66	PT17	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	14,55	12,94	13,98	15,98	12,84	13,24	12,58	11,65	12,29	13,56	13,36	11,65	15,98	13,5	1	13,5	Int.	Op.6
67	PT17	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	32,18	22,90	29,68	25,13	30,98	24,64	27,72	29,12	28,73	32,48	28,36	22,90	32,48	28,1	1	28,1	Int.	Op.6
68	PT18	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	9,11	7,58	8,08	7,18	9,75	8,24	7,33	10,45	11,98	13,32	9,30	7,18	13,32	9,6	1	9,6	Int.	Op.7
69	PT18	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	12,73	12,76	15,98	9,76	8,56	10,83	12,34	14,23	9,44	11,98	11,86	8,56	15,98	12,0	1	12,0	Int.	Op.7
70	N.A.	Arrumar o carrinho das bases no respetivo local	N.A.	21,36	26,75	23,50	18,27	21,54	19,87	24,64	25,90	21,10	20,43	22,34	18,27	26,75	22,4	1	22,4	Ext.	Versátil
71	N.A.	Arrumar os dois carrinhos com as bases dos postos PT13, PT14, PT15, PT16, PT17 e PT18 no respetivo local	N.A.	60,13	58,48	62,70	64,78	59,30	55,92	52,30	52,45	59,30	57,65	58,30	52,30	64,78	58,4	1	58,4	Ext.	Versátil
TOTAL OPERAÇÕES EXTERNAS [(seg)]																	-	1119,8			
TOTAL OPERAÇÕES INTERNAS [(seg)]																	-	1359,8			
TOTAL [(seg)]																	-	2479,6			




ANEXO III – FOLHA DE ESTUDO DOS TEMPOS DAS OPERAÇÕES DE *CHANGEOVER* COM PROPOSTAS DE MELHORIA

Nr	POSTO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CHANGEOVER	TIPO DE CHANGEOVER	MEDIÇÕES (Seg)										ESTIMATIVAS				FATOR	DURAÇÃO TOTAL	TIPO DE OPERAÇÃO	RESPONSÁVEL
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROVÁVEL (m)	OTIMISTA (a)	PESSIMISTA (b)	TEMPO ESTIMADO				
1	N.A.	Pegar e levar carrinho das bases para o início da linha	N.A.	18,88	27,69	22,86	16,80	25,51	20,54	23,35	22,83	22,76	21,27	22,25	16,80	27,69	22,2	1	22,2	Ext.	Versátil
2	PT1	Devolver material PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	23,86	18,76	19,56	23,45	25,75	17,34	23,43	19,63	22,87	17,78	21,24	17,34	25,75	21,3	1	21,3	Int.	Op.1
3	PT3	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	8,63	12,41	8,95	10,34	11,32	8,26	10,87	11,45	9,56	10,23	10,20	8,26	12,41	10,2	1	10,2	Int.	Op.1
4	PT3	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	10,41	9,76	9,61	10,07	8,56	7,75	10,34	9,85	7,82	8,76	9,29	7,75	10,41	9,2	1	9,2	Int.	Op.1
5	PT3	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	9,36	15,40	22,46	10,19	13,41	9,76	8,45	12,34	10,80	9,50	12,17	8,45	22,46	13,3	1	13,3	Int.	Op.1
6	PT4	Pré-preparação do material do PRODUTO B no respectivo dispensador e colocá-lo no posto, aguardando a mudança	MAT	181,46	210,34	151,87	122,89	102,54	174,56	148,12	114,79	123,78	190,87	152,12	102,54	210,34	153,6	1	153,6	Ext.	Versátil
7	PT4	Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	32,99	41,10	35,50	49,24	39,57	36,32	48,74	37,90	38,54	39,67	39,96	32,99	49,24	40,3	1	40,3	Int.	Versátil
8	PT4	Clicar em "STOP"	SW	3,75	4,43	5,98	3,58	4,43	3,51	4,72	5,23	4,19	3,56	4,34	3,51	5,98	4,5	1	4,5	Int.	Versátil
9	PT4	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base no suporte por trás do teclado	HW	26,48	28,96	32,73	27,32	24,56	26,13	25,63	24,74	25,39	34,98	27,69	24,56	34,98	28,4	1	28,4	Int.	Versátil
10	PT4	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	7,89	12,33	7,14	10,44	13,87	9,21	10,23	9,77	8,54	9,16	9,86	7,14	13,87	10,1	1	10,1	Int.	Versátil
11	PT4	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto e <i>part number</i> + Clicar em "OK"	SW	14,40	9,74	16,23	12,76	12,46	14,21	12,98	10,32	13,45	12,42	12,90	9,74	16,23	12,9	1	12,9	Int.	Versátil
12	PT4	Trocar o dispensador com material do PRODUTO A pelo dispensador pré-preparado do PRODUTO B	MAT	11,83	8,76	13,15	13,98	13,70	13,62	12,53	9,53	10,12	13,90	12,11	8,76	13,98	11,9	1	11,9	Int.	Versátil
13	PT4	Retirar o material do PRODUTO A do dispensador e arrumá-lo no respectivo local de acondicionamento	MAT	40,33	34,26	37,82	39,28	32,54	36,12	38,91	37,11	32,56	31,23	36,02	31,23	40,33	35,9	1	35,9	Ext.	Versátil
14	PT5	Preparar as caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	73,23	80,90	65,94	70,03	76,94	83,38	75,83	78,84	80,95	73,81	75,99	65,94	83,38	75,5	1	75,5	Ext.	Op.3
15	PT5	Clicar em "STOP"	SW	7,41	4,82	3,15	3,72	5,23	5,50	6,14	4,91	3,65	5,32	4,99	3,15	7,41	5,1	1	5,1	Int.	Op.3
16	PT5	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	17,01	11,94	16,21	19,39	15,42	18,54	14,45	15,78	18,34	14,60	16,17	11,94	19,39	16,0	1	16,0	Int.	Op.3
17	PT5	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	21,53	17,77	19,45	18,54	22,93	19,45	18,73	25,78	23,41	29,30	21,69	17,77	29,30	22,3	1	22,3	Int.	Op.3
18	PT5	Clicar em "START"	SW	7,92	6,57	4,26	3,95	3,23	5,87	5,92	4,68	3,93	5,68	5,20	3,23	7,92	5,3	1	5,3	Int.	Op.3
19	PT5	Trocar as caixas de materiais do PRODUTO A pelas caixas pré-preparadas do PRODUTO B, devolvendo o material do PRODUTO A	MAT	19,50	21,78	19,50	21,30	26,10	21,92	17,69	13,53	19,54	23,75	20,46	13,53	26,10	20,2	1	20,2	Int.	Op.3
20	PT6	Preparar o dispensador de etiquetas suplenete com o rolo de etiquetas do Produto B e colocá-lo no posto aguardando a mudança	MAT	47,12	57,47	52,10	56,78	48,00	46,63	49,92	54,45	49,09	51,94	51,35	46,63	57,47	51,6	1	51,6	Ext.	Versátil
21	PT6	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os <i>part numbers</i> dos materiais do PRODUTO B	MAT	23,45	29,87	24,76	30,81	27,65	29,97	25,21	29,54	23,41	30,76	27,54	23,41	30,81	27,4	1	27,4	Int.	Versátil
22	PT6	Clicar em "STOP"	SW	3,44	7,95	4,23	3,10	3,98	5,21	5,20	3,90	4,68	5,21	4,69	3,10	7,95	5,0	1	5,0	Int.	Versátil
23	PT6	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	18,25	12,70	13,18	10,97	9,86	14,64	10,41	12,45	13,52	10,34	12,63	9,86	18,25	13,1	2	26,2	Int.	Versátil
24	PT6	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	24,18	31,39	12,70	12,47	15,40	18,24	24,52	17,42	18,56	21,35	19,62	12,47	31,39	20,4	2	40,8	Int.	Versátil
25	PT6	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	SW	6,15	7,61	8,59	9,76	8,32	7,64	6,12	8,91	7,54	8,72	7,94	6,12	9,76	7,9	1	7,9	Int.	Versátil
26	PT6	Trocar o dispensador de etiquetas do PRODUTO A pelo dispensador pré-preparado do PRODUTO B	MAT	11,83	8,76	13,15	13,98	13,70	13,62	12,53	9,53	10,12	13,90	12,11	8,76	13,98	11,9	1	11,9	Int.	Versátil
27	PT7	Clicar em "STOP"	SW	5,43	4,34	5,89	3,85	4,56	5,23	5,08	4,82	3,90	4,20	4,73	3,85	5,89	4,8	1	4,8	Int.	Op.1
28	PT7	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	12,08	13,15	14,22	15,29	14,36	13,43	14,50	13,57	12,64	12,71	13,60	12,08	15,29	13,6	2	27,3	Int.	Op.1
29	PT7	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	11,54	13,92	12,78	13,21	13,33	14,03	12,54	12,08	13,15	14,36	13,09	11,54	14,36	13,0	2	26,1	Int.	Op.1
30	PT7	Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	SW	5,34	8,39	6,35	7,62	7,21	5,98	9,57	6,32	7,46	4,95	6,92	4,95	9,57	7,0	1	7,0	Int.	Op.1

31	PT8	Clicar em "Mudar Ferramenta"	SW	3,12	4,56	5,23	5,08	4,82	3,15	3,72	5,26	4,23	3,98	4,32	3,12	5,26	4,3	1	4,3	Int.	Op.1
32	PT8	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	4,54	4,59	5,64	6,69	3,74	5,79	4,84	5,89	3,94	4,07	4,97	3,74	6,69	5,1	1	5,1	Int.	Op.1
33	PT8	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	5,85	6,83	6,97	6,92	6,93	4,63	7,24	6,70	7,95	6,35	6,64	4,63	7,95	6,5	1	6,5	Int.	Op.1
34	PT8	Clicar em "START"	SW	5,20	4,33	5,63	4,74	3,91	3,05	6,23	6,77	4,86	5,12	4,98	3,05	6,77	5,0	1	5,0	Int.	Op.1
35	PT9	Clicar em "Mudar ferramenta"	SW	8,76	5,45	5,98	4,43	4,51	4,72	5,23	4,19	3,56	7,24	5,41	3,56	8,76	5,7	1	5,7	Int.	Versátil
36	PT9	Retirar base superior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	16,95	29,88	17,82	23,64	28,42	24,52	25,56	19,65	23,52	21,42	23,14	16,95	29,88	23,2	1	23,2	Int.	Versátil
37	PT9	Pegar na base superior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	22,75	29,50	20,91	26,43	21,46	25,43	26,87	23,76	21,34	24,12	24,26	20,91	29,50	24,6	1	24,6	Int.	Versátil
38	PT9	Retirar base inferior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	11,24	19,02	19,46	29,12	21,53	22,45	24,49	21,78	22,31	19,30	21,07	11,24	29,12	20,8	1	20,8	Int.	Versátil
39	PT9	Pegar na base inferior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	9,22	13,71	10,92	10,03	11,94	8,45	9,34	14,23	12,61	13,83	11,43	8,45	14,23	11,4	1	11,4	Int.	Versátil
40	PT9	Clicar em "START"	SW	4,14	9,52	6,05	5,51	4,27	5,52	4,94	4,53	3,98	7,23	5,57	3,98	9,52	6,0	1	6,0	Int.	Versátil
41	PT10	Clicar em "STOP"	SW	3,15	3,72	5,26	4,34	5,89	3,85	4,31	3,95	4,87	3,96	4,33	3,15	5,89	4,4	1	4,4	Int.	Op.4
42	PT10	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	10,42	6,78	10,26	9,93	10,45	13,21	11,65	8,35	9,86	7,75	9,87	6,78	13,21	9,9	2	19,8	Int.	Op.4
43	PT10	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	13,22	12,20	10,48	11,31	9,12	12,86	8,98	10,45	9,65	11,84	11,01	8,98	13,22	11,0	2	22,1	Int.	Op.4
44	PT10	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	SW	4,82	4,47	6,98	5,23	4,35	4,06	6,43	4,52	6,12	5,97	5,30	4,06	6,98	5,4	1	5,4	Int.	Op.4
45	PT11	Clicar em "STOP"	SW	4,43	4,79	5,54	5,37	6,48	5,51	6,34	4,78	4,04	3,10	5,04	3,10	6,48	5,0	1	5,0	Int.	Op.4
46	PT11	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	10,98	9,56	7,93	12,85	11,73	12,52	9,65	13,52	12,41	13,21	11,44	7,93	13,52	11,2	1	11,2	Int.	Op.4
47	PT11	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	9,87	7,09	11,77	8,36	10,98	12,53	8,62	9,23	12,23	10,31	10,10	7,09	12,53	10,0	1	10,0	Int.	Op.4
48	PT11	Clicar em "START"	SW	5,72	4,43	3,20	4,95	5,42	4,89	4,65	5,21	3,96	3,45	4,59	3,20	5,72	4,5	1	4,5	Int.	Op.4
49	PT12	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	8,53	9,40	12,84	13,74	12,63	9,72	8,31	10,24	12,54	13,63	11,16	8,31	13,74	11,1	1	11,1	Int.	Versátil
50	PT12	Clicar em "Mudar Ferramenta"	SW	7,48	4,87	5,35	5,63	8,74	3,91	5,05	6,23	6,77	4,76	5,88	3,91	8,74	6,0	1	6,0	Int.	Versátil
51	PT12	Retirar base superior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	23,11	25,81	19,92	25,78	24,27	28,59	24,70	30,51	27,56	26,34	25,66	19,92	30,51	25,5	1	25,5	Int.	Versátil
52	PT12	Pegar na base superior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	34,46	37,88	38,54	43,85	38,56	42,87	47,98	44,23	43,73	39,34	41,14	34,46	47,98	41,2	1	41,2	Int.	Versátil
53	PT12	Retirar base inferior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	HW	14,64	13,44	10,26	8,38	15,67	11,58	11,28	16,45	13,25	13,86	12,88	8,38	16,45	12,7	1	12,7	Int.	Versátil
54	PT12	Pegar na base inferior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	HW	7,14	5,62	8,26	5,40	7,81	7,45	6,87	6,23	7,98	7,63	7,04	5,40	8,26	7,0	1	7,0	Int.	Versátil
55	PT12	Clicar em "START"	SW	7,20	5,47	6,63	6,72	5,50	4,46	5,42	4,89	3,20	4,95	5,44	3,20	7,20	5,4	1	5,4	Int.	Versátil
56	N.A.	Buscar os dois carrinhos com bases dos postos PT13, PT14, PT15, PT16, PT17 e PT18	N.A.	59,90	62,30	58,78	52,30	68,78	62,30	49,78	62,30	58,23	50,25	58,49	49,78	68,78	58,8	1	58,8	Ext.	Versátil
57	PT13	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	20,31	19,23	19,36	24,72	21,48	21,34	19,88	20,34	17,65	18,12	20,24	17,65	24,72	20,6	1	20,6	Int.	Op.5
58	PT13	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	23,46	20,93	19,21	25,01	20,84	25,74	18,42	19,60	26,98	22,10	22,23	18,42	26,98	22,4	1	22,4	Int.	Op.5
59	PT14	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	12,77	15,44	11,22	9,06	8,23	14,76	12,45	10,80	11,34	13,74	11,98	8,23	15,44	11,9	1	11,9	Int.	Versátil
60	PT14	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	16,36	13,61	15,91	21,58	12,50	15,78	13,98	15,43	12,80	11,95	14,99	11,95	21,58	15,6	1	15,6	Int.	Versátil
61	PT14	Repetir o mesmo procedimento para as restantes 23 bases		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,5	23	632,8	Ext.	Versátil
62	PT15	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	14,70	16,55	25,96	13,25	24,13	14,36	15,09	9,36	17,56	23,45	17,44	9,36	25,96	17,5	1	17,5	Int.	Op.5
63	PT15	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	24,37	19,04	13,29	9,93	15,81	10,40	17,26	14,79	28,18	19,23	17,23	9,93	28,18	17,8	1	17,8	Int.	Op.5
64	PT15	Repetir o mesmo procedimento para a outra bancada	HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,4	1	35,4	Ext.	Versátil
65	PT16	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	MAT	52,12	57,91	59,85	51,95	58,35	54,21	58,60	48,32	56,45	53,29	55,11	48,32	59,85	54,8	1	54,8	Int.	Versátil
66	PT16	Retirar a base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	29,05	21,12	26,10	22,35	21,19	25,67	24,62	21,75	24,96	28,24	24,51	21,12	29,05	24,7	2	49,4	Int.	Op.6
67	PT16	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	HW	21,70	25,38	26,65	22,74	25,81	20,58	28,20	23,34	20,45	19,87	23,47	19,87	28,20	23,7	2	47,3	Int.	Op.6
68	PT17	Retirar os rolos de etiquetas do PRODUTO A e colocar os rolos de etiquetas do PRODUTO B	MAT	29,65	24,89	32,16	33,14	27,59	25,34	27,55	24,64	26,45	31,82	28,32	24,64	33,14	28,5	1	28,5	Int.	Op.6
69	PT17	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	14,55	12,94	13,98	15,98	12,84	13,24	12,58	11,65	12,29	13,56	13,36	11,65	15,98	13,5	1	13,5	Int.	Op.6

70	PT17	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	32,18	22,90	29,68	25,13	30,98	24,64	27,72	29,12	28,73	32,48	28,36	22,90	32,48	28,1	1	28,1	Int.	Op.6
71	PT18	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	HW	9,11	7,58	8,08	7,18	9,75	8,24	7,33	10,45	11,98	13,32	9,30	7,18	13,32	9,6	1	9,6	Int.	Op.7
72	PT18	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	HW	12,73	12,76	15,98	9,76	8,56	10,83	12,34	14,23	9,44	11,98	11,86	8,56	15,98	12,0	1	12,0	Int.	Op.7
73	N.A.	Arrumar o carrinho das bases no respectivo local	N.A.	21,36	26,75	23,50	18,27	21,54	19,87	24,64	25,90	21,10	20,43	22,34	18,27	26,75	22,4	1	22,4	Ext.	Versátil
74	N.A.	Arrumar os dois carrinhos com as bases dos postos PT13, PT14, PT15, PT16, PT17 e PT18 no respectivo local	N.A.	60,13	58,48	62,70	64,78	59,30	55,92	52,30	52,45	59,30	57,65	58,30	52,30	64,78	58,4	1	58,4	Ext.	Versátil
TOTAL OPERAÇÕES EXTERNAS [(seg)]																		-	1146,6		
TOTAL OPERAÇÕES INTERNAS [(seg)]																		-	1068,1		
TOTAL [(seg)]																		-	2214,7		

ANEXO IV – STANDARD WORK PARA AS ATIVIDADES DE MUDANÇA DE PRODUÇÃO DA LINHA

Standard do processo de changeover		Seção	Linha / Célula	Versão	
		123	ABC	1	
Preparado por	De produto/família	Para produto/família	Data	Total operações internas [(min)]	
Cláudia Lopes	PRODUTO A	PRODUTO B	30/09/2019	17,8	
Total de seqüências de trabalho	Criar seqüência de operações	Unidade de tempo	Idioma	Total operações externas [(min)]	
74		Segundos  Minutos 	 português	19,1	
Nr	Posto	Descrição	Operador	Tipo de operação	Duração estimada
1	N.A.	Pegar e levar carrinho das bases para o início da linha	V	Externa	22,2
2	PT1	Devolver material PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	1	Interna	21,3
3	PT3	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	1	Interna	10,2
4	PT3	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	1	Interna	9,2
5	PT3	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	1	Interna	13,3
6	PT4	Pré-preparação do material do PRODUTO B no respectivo dispensador e colocá-lo no posto, aguardando a mudança	V	Externa	153,6
7	PT4	Devolver caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	V	Interna	40,3
8	PT4	Clicar em "STOP"	V	Interna	4,5
9	PT4	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base no suporte por trás do teclado	V	Interna	28,4
10	PT4	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	V	Interna	10,1
11	PT4	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto e part number + Clicar em "OK"	V	Interna	12,9
12	PT4	Trocar o dispensador com material do PRODUTO A pelo dispensador pré-preparado do PRODUTO B	V	Interna	11,9
13	PT4	Retirar o material do PRODUTO A do dispensador e arrumá-lo no respectivo local de acondicionamento	V	Externa	35,9
14	PT5	Preparar as caixas de materiais do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	3	Externa	75,5
15	PT5	Clicar em "STOP"	3	Interna	5,1
16	PT5	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	3	Interna	16
17	PT5	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	3	Interna	22,3
18	PT5	Clicar em "START"	3	Interna	5,3
19	PT5	Trocar as caixas de materiais do PRODUTO A pelas caixas pré-preparadas do PRODUTO B, devolvendo o material do PRODUTO A	3	Interna	20,2
20	PT6	Preparar o dispensador de etiquetas suplente com o rolo de etiquetas do Produto B e colocá-lo no posto aguardando a mudança	V	Externa	51,6
21	PT6	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	V	Interna	27,4
22	PT6	Clicar em "STOP"	V	Interna	5
23	PT6	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	V	Interna	26,2
24	PT6	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	V	Interna	40,8
25	PT6	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	V	Interna	7,9
26	PT6	Trocar o dispensador de etiquetas do PRODUTO A pelo dispensador pré-preparado do PRODUTO B	V	Interna	11,9
27	PT7	Clicar em "STOP"	1	Interna	4,8
28	PT7	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	1	Interna	27,2
29	PT7	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	1	Interna	26,1
30	PT7	Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	1	Interna	7
31	PT8	Clicar em "Mudar Ferramenta"	1	Interna	4,3
32	PT8	Retirar base do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	1	Interna	5,1
33	PT8	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	1	Interna	6,5
34	PT8	Clicar em "START"	1	Interna	5
35	PT9	Clicar em "Mudar ferramenta"	V	Interna	5,7
36	PT9	Retirar base superior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	V	Interna	23,2
37	PT9	Pegar na base superior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	V	Interna	24,6
38	PT9	Retirar base inferior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	V	Interna	20,8
39	PT9	Pegar na base inferior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	V	Interna	11,4
40	PT9	Clicar em "START"	V	Interna	6
41	PT10	Clicar em "STOP"	4	Interna	4,4
42	PT10	Retirar base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	4	Interna	19,8
43	PT10	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no posto	4	Interna	22,1
44	PT10	Clicar em "START" + Selecionar o programa do novo produto + Clicar em "Ok"	4	Interna	5,4
45	PT11	Clicar em "STOP"	4	Interna	5
46	PT11	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	4	Interna	11,2
47	PT11	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	4	Interna	10
48	PT11	Clicar em "START"	4	Interna	4,5
49	PT12	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	V	Interna	11,1
50	PT12	Clicar em "Mudar Ferramenta"	V	Interna	6
51	PT12	Retirar base superior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	V	Interna	25,5
52	PT12	Pegar na base superior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	V	Interna	41,2
53	PT12	Retirar base inferior do PRODUTO A e arrumar base na gaveta	V	Interna	12,7
54	PT12	Pegar na base inferior do PRODUTO B e encaixar a mesma no dispositivo	V	Interna	7
55	PT12	Clicar em "START"	V	Interna	5,4
56	N.A.	Buscar os dois carrinhos com bases dos postos PT13, PT14, PT15, PT16, PT17 e PT18	V	Externa	58,8
57	PT13	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	5	Interna	20,6
58	PT13	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	5	Interna	22,4
59	PT14	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	V	Interna	11,9
60	PT14	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	V	Interna	15,6
61	PT14	Repetir o mesmo procedimento para as restantes 23 bases	V	Externa	633
62	PT15	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	5	Interna	17,5
63	PT15	Pega na base do PRODUTO B e encaixar no posto	5	Interna	17,8
64	PT15	Repetir o mesmo procedimento para a outra bancada	5	Externa	35,4
65	PT16	Devolver caixa de material do PRODUTO A e confirmar os part numbers dos materiais do PRODUTO B	6	Interna	54,8
66	PT16	Retirar a base esquerda/direita do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	6	Interna	49,4
67	PT16	Pegar na base esquerda/direita do PRODUTO B e encaixar no dispositivo	6	Interna	47,3
68	PT17	Retirar os rolos de etiquetas do PRODUTO A e colocar os rolos de etiquetas do PRODUTO B	6	Interna	28,5
69	PT17	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	6	Interna	13,5
70	PT17	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	6	Interna	28,1
71	PT18	Retirar base do PRODUTO A e arrumar a mesma no carrinho	7	Interna	9,6
72	PT18	Pegar na base do PRODUTO B e encaixar no posto	7	Interna	12
73	N.A.	Arrumar o carrinho das bases no respectivo local	V	Externa	22,4
74	N.A.	Arrumar os dois carrinhos com as bases dos postos PT13, PT14, PT15, PT16, PT17 e PT18 no respectivo local	V	Externa	58,4